



Dilson Tavares Almeida

Licenciado em Ciências da Engenharia Mecânica

Estudo da Eficiência Energética do Edifício X da FCT/UNL

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Mecânica

Orientador: Prof. Dr. João José Lopes de Carvalho

Júri:

Presidente: Prof. Doutor José Manuel Paixão Conde

Arguente: Prof. Doutor José Fernando de Almeida Dias

Vogal: Prof. Doutor João José Lopes de Carvalho



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Setembro de 2013

Estudo da Eficiência Energética do Edifício X da FCT/UNL

Copyright © 2013 – Dilson Tavares Almeida e Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

*Dedico este trabalho aos meus pais,
irmãos e avós*

“É graça divina começar bem. Graça maior persistir na caminhada certa. Mas a graça das graças é não desistir nunca.”

(Dom Hélder Câmara)

Agradecimentos

Quero expressar aqui os meus sinceros agradecimentos, a todas as pessoas que de um modo direto ou indireto contribuíram para que fosse possível a elaboração desta dissertação.

Em primeiro lugar, os meus sinceros agradecimentos ao Orientador Professor Doutor João José Lopes de Carvalho. Sem o seu apoio, envolvimento, esforço e sem a sua preciosa ajuda e orientação, este trabalho não teria sido possível de modo algum. Um muito obrigado pelas sugestões, recomendações e sobretudo pela paciência demonstrada ao longo da realização deste trabalho.

Agradeço também a Divisão de Apoio Técnico, Seção de Planeamento Físico e Ambiental Campus Verde, na pessoa da Eng.^a Patrícia Bravo pela cedência de dados sobre o edifício em estudo.

Um agradecimento muito especial é endereçado ao Pe. Magalhães Fernandes e Sra. Júlia Amarin pelo apoio financeiro, que muitas vezes escasseou, e moral que me possibilitou esta formação. Obrigado por tudo.

À FACIT, especialmente a Dr.^a Maria Helena Cabral pelo apoio disponibilizado.

Aos meus amigos sem exceção, embora queira agradecer em particular ao Eng.^o Moisés Brito pelo apoio incondicional ao longo destes anos.

Reservo ainda uma palavra de reconhecimento aos meus colegas do Departamento de Engenharia Mecânica, Carlos Costa, Emanuel Semedo, Carla Merícia e Patrick Azevedo pelo estímulo da amizade, incentivo e confiança que me demonstraram em todos os momentos.

E, finalmente, um agradecimento muito especial aos meus pais e irmãos pelo apoio absoluto durante os meus estudos e toda a minha vida.

Resumo

O presente trabalho teve como objetivo fundamental o estudo da eficiência energética do Edifício do Departamento de Engenharia Eletrotécnica, da Faculdade de Ciências e Tecnologias - Universidade Nova de Lisboa, através do *software* de simulação, Design Builder.

Logo de início verificou-se que o edifício não estava conforme o projeto inicialmente previsto. Apenas 50% do edifício é climatizado. Surgiu então desde logo a necessidade de uma investigação para dois cenários distintos.

Na primeira fase de trabalho, fez-se um levantamento dos dados de arquitetura e climatização do edifício, sendo feita a primeira simulação com os dados recolhidos após a calibração do modelo através de dados de consumo real. A vasta simulação realizada foi estudada de forma a observar o real comportamento do edifício em termos dos consumos energéticos e por fim analisar onde se podia fazer a poupança da energia.

Por último, verificou-se que as medidas propostas para a otimização dos consumos energéticos se implementadas, contribuiriam de forma decisiva para assegurar o cumprimento do IEE.

Palavras-chave: Design Builder, Simulação Dinâmica, Edifício de Ensino, RSECE, Eficiência Energética.

Abstract

The present work had as a fundamental objective the study of the energy efficiency of the building of the Electrical Engineering Department at the Faculdade de Ciências e Tecnologias – Universidade Nova de Lisboa, through the simulation software, Design Builder.

Just from the beginning it came across that the building didn't follow the project originally planned. Only 50% of the building is air conditioned. Immediately it came the need for an investigation of two different scenarios.

In the first stage of the work, it was made a survey of the construction data and the overall energy of the building. The first simulation was made with the collected data after the calibration of the model using the data from real consumption. The extensive simulation conducted was studied in order to observe the actual behaviour of the building in terms of energy consumption and finally to analyze where there could be energy savings.

Finally, it was found that the proposed measures for the optimization of the energy consumptions would contribute decisively to ensure compliance with the IEE.

Keywords: Design Builder, Dynamic Simulation, Education Building, RSECE, Energy Efficiency.

Índice de matérias

Capítulo 1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Âmbito do trabalho.....	1
1.1.1	Fontes de energia renováveis e não renováveis.....	2
1.1.2	Impactos negativos no meio ambiente	3
1.1.3	Enquadramento – pesquisa histórica	4
1.1.4	Portugal	5
1.2	Objetivo e metodologia	5
1.3	Estrutura da dissertação.....	6
Capítulo 2	APLICAÇÃO E CONCEITO	9
2.1	Introdução.....	9
2.2	Regulamento em vigor no setor dos edifícios em Portugal	9
2.2.1	Sistema Nacional de Certificação e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE)	10
2.2.2	Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE)	11
2.2.3	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE)	13
2.3	História e evolução.....	15
2.4	Software Design Builder	20
2.4.1	Modelo de cálculo do software	21
Capítulo 3	CASO DE ESTUDO	25
3.1	Introdução.....	25
3.2	Recolha de informação.....	25
3.3	Descrição pormenorizada do edifício.....	26
3.3.1	Forma e localização do edifício.....	27
3.3.2	Piso 0.....	30

3.3.3	Piso 1	33
3.3.4	Piso 2	36
3.3.5	Piso 3	38
3.3.6	Janelas e Portas	40
3.3.7	Iluminação	42
3.3.8	Sistema de climatização.....	45
3.3.9	Ventilações centralizadas.....	46
3.3.10	Ventilações específicas.....	47
3.3.11	Equipamentos	47
3.3.12	Análise das faturas energéticas	48
Capítulo 4	SIMULAÇÃO DINÂMICA	53
4.1	Introdução.....	53
4.2	Calibração do modelo de simulação	54
4.2.1	Modelo exato cenário A.....	55
4.2.2	Setpoints	57
4.2.3	Perfis de utilização.....	57
4.2.4	Infiltrações	57
4.2.5	Ganhos térmicos internos	58
4.2.6	Climatização	58
4.2.7	Outputs da simulação.....	59
4.3	Simulação dos consumos nominais	61
4.3.1	Condições nominais.....	62
4.3.2	Resultados.....	63
4.3.3	Indicador de Eficiência Energética.....	64
Capítulo 5	ANÁLISE CRÍTICA DE RESULTADOS	67
5.1	Introdução.....	67
5.2	Estação de aquecimento.....	67

5.3	Estação de arrefecimento.....	71
5.4	Simulação anual	75
5.5	Propostas de otimização energética.....	79
5.5.1	Iluminação de baixo consumo (IBC).....	79
5.5.2	Substituição da caldeira (SC)	81
5.5.3	Utilização de energias renováveis (UER).....	81
5.5.4	Combinações propostas de otimização energética	83
5.5.5	Análise económica das medidas propostas.....	84
Capítulo 6	CONCLUSÕES FINAIS, LIMITAÇÕES E TRABALHOS FUTUROS	87
6.1	Introdução.....	87
6.2	Conclusões gerais.....	87
6.3	Limitações e trabalhos futuros	90
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	91
	ANEXOS	95

Índice de figuras

<i>Figura 1.1 - Fluxograma satisfação requisitos de consumo</i>	<i>6</i>
<i>Figura 2.1 – Esquema de ligação entre os três novos DL.</i>	<i>10</i>
<i>Figura 2.2 – Evolução das paredes no tempo</i>	<i>15</i>
<i>Figura 2.3 – Modo geral de funcionamento DB.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 2.4 – Balanço energético num edifício</i>	<i>23</i>
<i>Figura 2.5 – INPUT / OUTPUT DesignBuilder.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 3.1 – Edifício X – DEE</i>	<i>27</i>
<i>Figura 3.2 – Planta e orientação do DEE.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 3.3 – Topo Norte do DEE</i>	<i>28</i>
<i>Figura 3.4 – Fachada Poente do DEE.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 3.5 – Fachada Nascente do DEE</i>	<i>29</i>
<i>Figura 3.6 – Topo Sul do DEE.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 3.7 – Planta interior Piso 0 – DEE</i>	<i>31</i>
<i>Figura 3.8 – Parede exterior do Piso 0.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 3.9 – Chão, piso 0</i>	<i>32</i>
<i>Figura 3.10 – Planta interior do Piso 1.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 3.11 – Parede exterior DEE</i>	<i>35</i>
<i>Figura 3.12 – Parede interior DEE.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 3.13 – Tetos DEE.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 3.14 – Planta interior do Piso 2.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 3.15 – Planta interior do Piso 3.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 3.16 – Cobertura do Piso 4</i>	<i>39</i>
<i>Figura 3.17 – Janela Oeste.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 3.18 – Janela Este.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 3.19 – Iluminação do Piso 0.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 3.20 – Iluminação do Piso 1.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 3.21 – Consumos elétricos</i>	<i>48</i>
<i>Figura 3.22 – Consumos do gás propano</i>	<i>49</i>
<i>Figura 4.1 – Soluções construtivas DB - DEE</i>	<i>55</i>
<i>Figura 4.2 – Layout DB do DEE.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 4.3 – Esquema ventilo-convetor - DB</i>	<i>59</i>

<i>Figura 4.4 – Consumo energético médio mensal de 2010, 2011 e 2012 vs Consumo energético simulação</i>	60
<i>Figura 4.5 – Consumos reais desagregados anuais</i>	61
<i>Figura 4.6 – Consumos nominais desagregados anuais – Cenário A.....</i>	63
<i>Figura 4.7 – Consumos nominais desagregados anuais – Cenário B.....</i>	64
<i>Figura 5.1 – Balanços energéticos das necessidades aquecimento – Cenário A</i>	68
<i>Figura 5.2 – Balanços energéticos das necessidades aquecimento – Cenário B.....</i>	69
<i>Figura 5.3 – Perdas térmicas aquecimento – Cenário A</i>	70
<i>Figura 5.4 – Perdas térmicas aquecimento – Cenário B</i>	70
<i>Figura 5.5 – Ganhos internos necessidades de arrefecimento – Cenário A</i>	72
<i>Figura 5.6 – Ganhos internos necessidades de arrefecimento – Cenário B</i>	72
<i>Figura 5.7 – Ganhos internos de arrefecimento – Cenário A</i>	74
<i>Figura 5.8 – Ganhos internos de arrefecimento – Cenário B</i>	74
<i>Figura 5.9 – Consumos anuais – Cenário A</i>	75
<i>Figura 5.10 – Consumos anuais – Cenário B</i>	76
<i>Figura 5.11 – Consumo mensal – Cenário A</i>	76
<i>Figura 5.12 – Consumo mensal – Cenário B</i>	77
<i>Figura 5.13 – Consumo mensal desagregado – Cenário A</i>	77
<i>Figura 5.14 – Consumo mensal desagregado – Cenário B</i>	78
<i>Figura 5.15 – Consumo diário – Cenário A</i>	78
<i>Figura 5.16 – Consumo diário – Cenário B</i>	79
<i>Figura 5.17 – Produção média mensal de eletricidade do sistema fotovoltaico</i>	82
<i>Figura 5.18 – Instalação fotovoltaico na cobertura.....</i>	83

Índice de tabelas

<i>Tabela 1.1 - Principais emissões causadas pelo consumo de energia.....</i>	<i>3</i>
<i>Tabela 2.1 - Eletricidade</i>	<i>17</i>
<i>Tabela 2.2 – Emissões equivalentes CO2</i>	<i>17</i>
<i>Tabela 2.3 – Despesa com eletricidade em milhares de milhões de euros</i>	<i>18</i>
<i>Tabela 3.1 – Dados gerais do edifício.....</i>	<i>26</i>
<i>Tabela 3.2 – Distribuição de espaços do edifício</i>	<i>30</i>
<i>Tabela 3.3 – Dados de arquitetura do Piso 0</i>	<i>31</i>
<i>Tabela 3.4 – Dados de arquitetura do Piso 1</i>	<i>33</i>
<i>Tabela 3.5 – Dados de arquitetura do Piso 2</i>	<i>37</i>
<i>Tabela 3.6 – Dados de arquitetura do Piso 3</i>	<i>38</i>
<i>Tabela 3.7 – Características da janela Oeste</i>	<i>41</i>
<i>Tabela 3.8 – Características da janela Este</i>	<i>42</i>
<i>Tabela 3.9 – Potência de iluminação do Piso 0</i>	<i>43</i>
<i>Tabela 3.10 – Potência de iluminação do Piso 1</i>	<i>44</i>
<i>Tabela 3.11 – Média dos consumos anuais do Ed. X.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabela 3.12 – Área das tipologias</i>	<i>50</i>
<i>Tabela 4.1 – Dados climáticos de referência para o concelho de Almada.....</i>	<i>54</i>
<i>Tabela 4.2 – Setpoints das temperaturas</i>	<i>57</i>
<i>Tabela 4.3 – Consumos de faturação e simulação</i>	<i>59</i>
<i>Tabela 4.4 – Consumos anuais obtidos na simulação em condições reais</i>	<i>60</i>
<i>Tabela 4.5 – Consumos anuais obtidos na simulação em condições nominais</i>	<i>63</i>
<i>Tabela 4.6 – Energias finais</i>	<i>64</i>
<i>Tabela 5.1 – Balanços energéticos das necessidades aquecimento</i>	<i>69</i>
<i>Tabela 5.2 – Balanços energéticos das necessidades de arrefecimento</i>	<i>73</i>
<i>Tabela 5.3 – Poupança Anual com a substituição da iluminação</i>	<i>80</i>
<i>Tabela 5.4 – Poupança Anual com a substituição da caldeira.....</i>	<i>81</i>
<i>Tabela 5.5 – Dados técnicos do painel fotovoltaico</i>	<i>82</i>
<i>Tabela 5.6 – Poupanças dos Consumos elétricos propostos</i>	<i>83</i>
<i>Tabela 5.7 – Poupanças dos Consumos elétricos para as várias combinações</i>	<i>84</i>
<i>Tabela 5.8 – Período de retorno das medidas propostas</i>	<i>86</i>
<i>Tabela 5.9 – Custo máximo de investimento para uma viabilidade económica apreciável.....</i>	<i>86</i>

Lista de abreviaturas e siglas

ADENE – Agência para a Energia

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

BA – Bateria de Aquecimento

BF – Bateria de Frio

COP – Coefficient Of Performance

COV – Compostos Orgânicos Voláteis

CQNUMC – Convenção Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança Climática

DB – Design Builder

DEE – Departamento da Engenharia Eletrotécnica

DGEG – Direção Geral de Energia e Geologia

DL – Decreto-lei

DOP – United States Department of Energy

E4 – Eficiência Energética e Energias Endógenas

FCT – Faculdade de Ciências e Tecnologias

FER – Fontes de Energia Renováveis

GEE – Gases com Efeito de Estufa

IBC – Iluminação de Baixo Consumo

IEE – Indicador de Eficiência Energética

kgep – Quilograma Equivalente de Petróleo

LED – Díodo Emissor de Luz

NO_x – Óxido de Nitrogénio

P3E – Programa Nacional para a Eficiência Energética nos Edifícios

PNAC – Plano Nacional para as Alterações Climáticas

PNAEE – Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética

PNAER – Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis

PRE – Plano de Racionalização Energética

PRS – Período de Retorno Simples

PV - Fotovoltaico

PVGIS – Photovoltaic Geographical Information System

QAI – Qualidade do Ar Interior

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios

RGCE – Regulamento de Gestão do Consumo de Energia

RPH – Renovações de ar Por hora

RQSECE – Regulamento da Qualidade dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

SCE – Sistema de Certificação Energética

SC – Substituição da Caldeira

SO₂ – Dióxido de Enxofre

tep – Tonelada Equivalente de Petróleo

UER – Utilização de Energia Renováveis

UNL – Universidade Nova de Lisboa

URE – Utilização Racional de Energia

UTA – Unidade de Tratamento de Ar

UTAN – Unidade de Tratamento de Ar Novo

VC – Ventilador-Conveter

VE – Ventilador de Extração

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

1.1. Âmbito do trabalho

1.2. Objetivo e metodologia da dissertação

1.3. Estrutura da dissertação

Nesta introdução pretende-se facultar uma visão genérica do trabalho desenvolvido. Assim, começa-se por apresentar de uma forma resumida as considerações gerais do trabalho. De seguida, apresentam-se os principais objetivos e a metodologia adotada. Na parte final descreve-se a estrutura, especificando os conteúdos de cada capítulo.

1.1 Âmbito do trabalho

Quando se aborda o tema da Eficiência Energética nas edificações, muitas vezes a primeira ideia subjacente é a de que se trata de uma atividade que implica custos, sem que dela resultem benefícios maiores para as infraestruturas, quer seja residencial e edifícios. Mas se bem abordado, contribui para economias significativas e sustentáveis de energia. Tal facto deriva do desconhecimento natural e permanente sobre a questão energética (como é repetidamente sublinhado pelos vários inquéritos do Eurobarómetro sobre a matéria) e a dificuldade em lidar com um tema que tem muito de intangível (a energia não se vê e não tem uma utilidade em si, mas antes nos serviços que propicia) pode acarretar dificuldades acrescidas na implementação de medidas de eficiência [1]. Daí a necessidade de se demonstrar que, através de ações ambiciosas de Eficiência Energética, é possíveis de imediato, na maior parte das instalações existentes, conseguir poupanças de energia utilizando as ferramentas e as tecnologias existentes, assentes em conceitos científicos, que podem acrescentar mais-valias na cadeia de valor para gestão de recursos e impacto ambiental.

Durante vários anos pensar o tema da Eficiência Energética significou refletir em tecnologias, em proporcionar à sociedade soluções mais eficientes que permitissem desfrutar dos mesmos serviços com um menor consumo de energia [1]. A Eficiência Energética é definida como a relação entre a energia teoricamente necessária para produzir determinado efeito e a energia realmente consumida para o mesmo efeito, i.e., é a otimização que podemos fazer no consumo de energia [2]. A premência do tema conjugada com a inexistência dos resultados esperados deu espaço à estudos científicos e teses, permitindo-lhes contribuir para a compreensão da complexidade do tema.

A ameaça de esgotamento das reservas de combustíveis fósseis como o carvão, o gás ou o petróleo, a pressão dos resultados económicos e as preocupações ambientais, levam-nos a encarar a Eficiência Energética como uma das soluções para equilibrar o modelo de consumo existente e para combater as alterações climáticas. Aprender a utilizar de forma responsável a energia de que dispomos é garantir um futuro melhor para as gerações vindouras. No entanto, para alcançar estas metas, precisa-se alterar a nossa atitude em relação ao consumo de energia, refletindo-a nos gestos do dia-a-dia. Não é de estranhar, portanto, que a energia tenha uma tão grande importância para a humanidade. A energia pode estar em forma de calor, movimento, luz, convertendo-se nas mais diversas formas de impulsionar a vida.

1.1.1 *Fontes de energia renováveis e não renováveis*

A energia existente na natureza pode ser definida de duas formas: renováveis e não renováveis. As fontes de energia renováveis são todas aquelas a que se pode recorrer de forma permanente, porque são inesgotáveis, como por exemplo a energia Solar, Hídrica, Eólica, Marés, Energia das Ondas e Geotérmica. As energias renováveis caracterizam-se igualmente por terem um impacto ambiental nulo na emissão de gases que provocam o efeito de estufa.

As energias não renováveis diminuem à medida que são consumidas e têm reservas limitadas. São exemplos o Carvão, Gás Natural, Petróleo, Urânio e Biomassa. Podem ser de origem fóssil, formadas pela transformação de restos orgânicos acumulados na natureza há milhões de anos, ou de origem mineral. À medida que as reservas diminuem, torna-se cada vez mais difícil a sua extração e, consequentemente, aumenta o seu custo. Inevitavelmente, mantendo o modelo de consumo atual, os recursos não renováveis deixarão de estar disponíveis num futuro próximo, quer seja pela extinção das suas reservas, quer seja porque a sua extração deixará de ser economicamente rentável a médio prazo [3].

1.1.2 Impactos negativos no meio ambiente

A transformação, transporte e uso final da energia causam impactos negativos no meio ambiente, tanto a nível local como global. Inicialmente e durante a fase de exploração, produzem-se resíduos, contaminam-se as águas e os solos, além de se gerarem emissões para a atmosfera. Também o transporte e a distribuição da energia afetam o meio ambiente através do impacto criado pelas redes elétricas ou oleodutos e gasodutos, ou pelas chamadas marés negras, com dramáticas consequências para os ecossistemas e economias das zonas afetadas. Paralelamente, o consumo energético a partir de energias fósseis, necessita sempre de passar por um processo de combustão, tanto nas centrais elétricas para produzir eletricidade, como localmente, em caldeiras ou motores de veículos. Esta combustão dá lugar à formação de CO₂, um dos principais gases causador do efeito de estufa, e de outros gases e partículas poluentes que prejudicam a saúde. Há que ter em conta que a produção de energia e o seu uso, tanto na indústria como nas habitações e nos meios de transporte, é responsável pela maioria das emissões de CO₂ causadas pelo Homem. Por outro lado, a produção de eletricidade em centrais nucleares não emite CO₂, mas cria resíduos radioativos de difícil e dispendioso tratamento [3].

Tabela 1.1 - Principais emissões causadas pelo consumo de energia

	ORIGEM	EFEITOS
CO₂ (<i>Dióxido de carbono</i>)	Reações de combustão	Contribui para o efeito de estufa ao reter a radiação infravermelha que a Terra emite para o espaço
CO (<i>Monóxido de carbono</i>)	Produz-se na combustão incompleta da mistura combustível-ar	Altamente tóxico para o Homem
NO_x (<i>Óxido de nitrogénio</i>)	Reações de alta temperatura entre o nitrogénio e o oxigénio presentes no ar, nos processos de combustão	Chuva ácida, alterações de ecossistemas florestais e aquáticos. Irrita os brônquios
SO₂ (<i>Dióxido de enxofre</i>)	Resulta da combustão dos combustíveis fósseis, devido ao enxofre que contêm	Chuva ácida, alterações de ecossistemas florestais e aquáticos. Doenças do tipo alérgico, irritação dos olhos e vias respiratórias
COV (<i>Compostos orgânicos voláteis</i>)	Gases de escape originários de uma combustão deficiente ou da evaporação de combustível	Efeitos cancerígenos, doenças do tipo alérgico, irritação dos olhos e vias respiratórias
Partículas e fumos	Resulta da má combustão dos combustíveis (especialmente motores Diesel)	Sujidade ambiental, visibilidade reduzida e afetam as vias respiratórias

1.1.3 *Enquadramento – pesquisa histórica*

A década de 70 ficou marcada pela crise energética que afetou particularmente os países mais dependentes dos combustíveis fósseis. Ocorreu o momento chave para trazer para o debate público a relação entre o modelo de desenvolvimento vigente e alguns dos problemas ambientais que lhe estavam associados. Foi a constatação desta relação entre a ação individual, a ação estrutural e os seus impactos no ambiente que estiveram na origem do protocolo de Quioto [1].

O protocolo de Quioto é consequência de uma série de eventos iniciado no Canadá, em outubro de 1988, no evento *Conference on the Changing Atmosphere*.

Em agosto de 1990, na Suécia, foi reforçado pelo *IPCC's First Assessment Report* em Sundsvall, e que culminou com a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança Climática (CQNUMC) na ECO-92 no Rio de Janeiro, Brasil, junho de 1992.

Estabeleceu-se no protocolo um tratado internacional com compromissos mais rígidos para a redução da emissão dos gases que agravam o efeito estufa, considerados, de acordo com a maioria das investigações científicas, com origem nas atividades humanas, causando o aquecimento global [4].

Debatido e ajustado em 1997, em Quioto, no Japão, foi aberto para assinaturas em dezembro do mesmo ano e ratificado em março de 1999. Para entrar em vigor precisou que 55 países, que juntos produzem 55% das emissões, o ratificassem. Assim, entrou em vigor em fevereiro de 2005, depois que a Rússia o ratificou em novembro de 2004 [5].

Os países industrializados, através do protocolo de Quioto, acordaram em reduzir as suas emissões de gases com efeito de estufa em 5,2% até 2012, tendo por base o nível de emissões em 1990.

Atualmente, a eletricidade é o fator que mais contribui para a emissão de gases com efeito de estufa. Mais de 50% das emissões de CO₂ são atribuídas ao consumo de eletricidade nos sectores residencial e edifícios de serviços. Além disso, com a proliferação de eletrodomésticos, computadores e sistemas de entretenimento, e com o aumento de utilização de sistemas de ar condicionado e ventilação, o consumo de eletricidade dispara desproporcionalmente em relação à utilização de outras formas de energia [6].

1.1.4 *Portugal*

Em Portugal, na década de 80, iniciou-se o estudo da “conservação energética em Edifícios”, não na redução de consumos energéticos mas, numa primeira etapa, com vista ao conforto térmico. Na década de 90, é quando os primeiros regulamentos relativo ao comportamento passivo dos edifícios, começam a surgir através do RCCTE (Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios – DL.º Lei 40/90, de 6 de fevereiro). Mas só recentemente, e face à obrigatoriedade do cumprimento das diretivas europeias, publicadas a 4 de janeiro de 2003, é que o Ministério da Economia e Inovação implementou como estratégia nacional de energia um plano para o aumento da Eficiência Energética nos edifícios. Desta forma, os DL.º 80/06 e 79/06 (RCCTE e RSECE – Regulamento Dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios, respetivamente) vieram alterar os existentes, passando estes a ser mais exigentes e obrigando à certificação energética.

1.2 *Objetivo e metodologia*

O objetivo principal da presente dissertação consiste em encontrar a solução mais eficiente energeticamente, para o edifício X, do Departamento da Engenharia Eletrotécnica, situada no campus da Faculdade de Ciências e Tecnologias – Universidade Nova de Lisboa (FCT – UNL), tendo como base o Regulamento de Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) em sintonia com o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE).

Para alcançar esse objetivo recorreu-se a simulação com auxílio ao programa Design Builder, um interface gráfico de simulação térmica dinâmica para a Energy Plus. O *software* permite uma modelação tridimensional (3D) com uma grande capacidade para simular o comportamento térmico de edifícios e dimensionar pormenorizadamente possibilitando introduzir dados, como características de construções, atividades, ocupações, iluminação e sistemas de AVAC, etc.

A metodologia utilizada para determinar ou estimar o IEE real e nominal, sem omitir o referencial no RSECE, no âmbito da Eficiência Energética, consiste no tratamento dos dados recolhidos sob duas vertentes: a primeira, considera os dados energéticos gerais, gás e eletricidade, do edifício referentes a leituras efetuadas aos contadores referentes aos anos de 2008 à 2012, calculando posteriormente o IEE real; a segunda, considera os dados de arquitetura, tais como: localização, orientação, envolvente exterior, divisões, paredes, chão, teto, janelas e portas; e dados de climatização, tais como: atividades,

iluminações e também sistemas de AVAC que serão introduzidos no *software* e posteriormente estimam o IEE nominal. Com os dados obtidos da aplicação das duas vertentes, procede-se o estudo comparativo, conforme critérios sugeridos no RSECE. Caso esses critérios não forem satisfeitos são propostas alterações com vista ao melhoramento da Eficiência Energética.

Este estudo é realizado iterativamente seguindo a estrutura do fluxograma implementado para otimizar a Eficiência Energética, apresentado na figura 1.1.

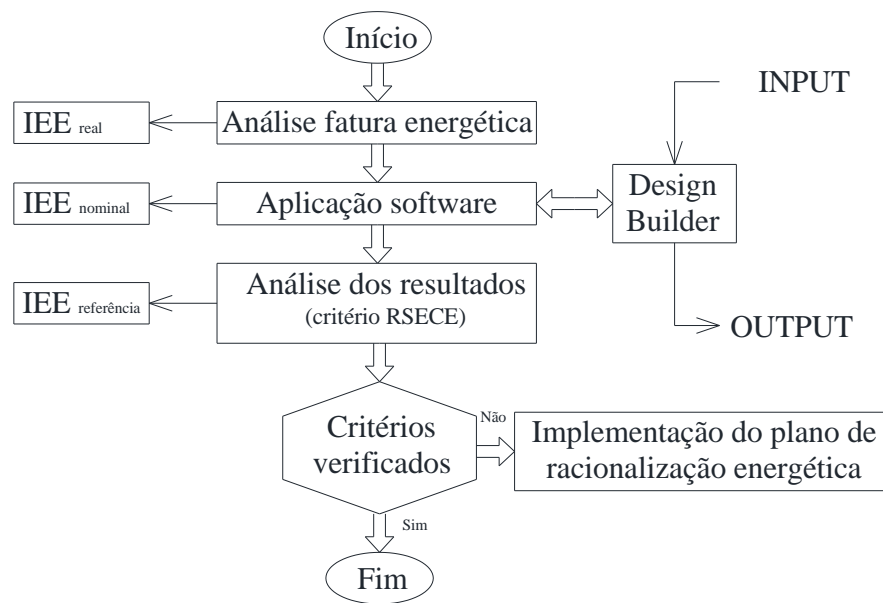


Figura 1.1 - Fluxograma satisfação requisitos de consumo

1.3 Estrutura da dissertação

A dissertação encontra-se dividida em seis capítulos; Introdução, Revisão Bibliográfica, Caso de Estudo, Simulação Dinâmica, Análise Crítica de Resultados e Conclusões Finais. Estão organizados e descritos da seguinte forma:

- No capítulo I deste trabalho, **Introdução**, apresenta-se de forma genérica o conceito de Eficiência Energética, seguindo uma breve história desde os primeiros conceitos até à atualidade. Na fase inicial é descrito o objetivo do trabalho, bem como a metodologia aplicada. É também descrita a forma como o documento está organizado.

- No capítulo II, **Aplicação e Conceito**, é feita uma abordagem ao regulamento em vigor e sua evolução histórica em Portugal. Na parte final do capítulo apresenta-se uma descrição do *software* Design Builder.

- No capítulo III, **Caso de Estudo**, é exposta uma descrição física pormenorizada do edifício X com todos os dados de construção e equipamentos técnicos relevantes para a climatização.

- No capítulo IV, **Simulação Dinâmica**, trata-se das simulações efetuadas, recorrendo ao Design Builder, para análise do desempenho energético que permite avaliar, de uma forma quantitativa, os consumos potenciais de energia do edifício X e dos seus sistemas para determinadas condições de utilização e funcionamento.

- No capítulo V, **Análise Crítica de Resultados e Propostas de Otimização Energética**, descrevem-se as várias soluções estudadas e analisam-se os resultados experimentais obtidos nas várias simulações realizadas, bem como as propostas e soluções inovadoras no sentido de enriquecer este estudo proporcionando um edifício eficiente energeticamente e sustentável do ponto de vista ambiental.

- No capítulo VI, **Conclusões Finais, Limitações e Trabalhos Futuros**, apresenta-se uma análise global do trabalho realizado.

Os **Anexos**, são significativos na exposição das diversas matérias abordadas ao longo do trabalho, através de formas ilustrativas.

Capítulo 2

APLICAÇÃO E CONCEITO

2.1 Introdução

2.2 Regulamento em vigor

2.3 História e evolução

2.4 Software Design Builder

2.1 Introdução

O presente capítulo é iniciado com descrição técnica dos integrantes do estudo e temas que assumem especial ênfase na realização deste trabalho. Analisa-se de forma detalhada o regulamento energético em vigor em Portugal, assim como, a evolução em termos de regulamentos europeus e nacionais, aplicados à Eficiência Energética em edifícios. Na parte final do capítulo descreve-se o *software* utilizado ao longo da investigação que contribuí de forma essencial para os resultados finais.

2.2 Regulamento em vigor no setor dos edifícios em Portugal

Em 4 de abril de 2006, foram publicados os Decretos-lei n.º. 78/2006, Decretos-lei n.º. 79/2006 e Decretos-lei n.º. 80/2006. Estes dois últimos vêm revogar e alargar os anteriores regulamentos como o RCCTE e o RSECE que já subsistiam em Portugal. O Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização nos Edifícios (RSECE) e o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) consubstanciam a atual legislação existente, que enquadra os critérios de conformidade a serem observados no âmbito do sistema de certificação, estabelecendo, para o efeito, os requisitos que devem ser aferidos. Deste modo, os aspetos a contemplar são: Eficiência Energética, ensaios de receção de sistemas após a conclusão da sua construção, monitorização do funcionamento dos sistemas de climatização, inspeção periódica de caldeiras e equipamentos de ar condicionado e responsabilidade pela condução dos sistemas. O Sistema Nacional de Certificação Energética e da

Qualidade do Ar Interior em Edifícios (SCE) define regras e métodos para verificação da aplicação efetiva destes regulamentos às novas edificações, bem como, numa fase posterior, aos imóveis já construídos [7]. Na figura 2.1 pode observar o esquema de ligação entre os três novos DL.

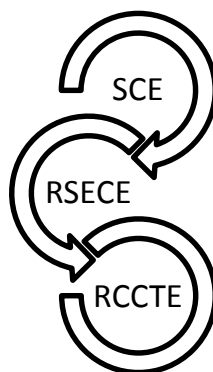


Figura 2.1 – Esquema de ligação entre os três novos DL.

Recentemente, com a legislação vigente, estas regras, começaram a ser mais estritas face à obrigatoriedade dos cumprimentos das diretivas europeias, e à necessidade da criação de um Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética até 2015. Igualmente no seguimento da Diretiva Europeia 2002/91/CE, relativo ao desempenho energético dos edifícios, Portugal transpôs o seu conteúdo para a legislação nacional, tendo associado, no mesmo documento, as preocupações sobre a QAI em edifícios e as condições de gestão e execução da manutenção.

2.2.1 Sistema Nacional de Certificação e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE)

O SCE foi a novidade legislativa em Portugal e é instituído pelo Decreto-Lei nº 78/2006 [8] e tem como principais objetivos:

- a) Assegurar a aplicação regulamentar, nomeadamente no que respeita às condições de Eficiência Energética, à utilização de sistemas de energias renováveis e, ainda, às condições de garantia da qualidade do ar interior (QAI), de acordo com as exigências e disposições contidas no RCCTE e no RSECE;
- b) Certificar o desempenho energético e a qualidade do ar interior nos edifícios;
- c) Identificar as medidas corretivas ou de melhoria de desempenho aplicáveis aos edifícios e respetivos sistemas energéticos, nomeadamente caldeiras e equipamentos de ar condicionado, quer no que respeita ao desempenho energético, à qualidade do ar interior.

De acordo com o Artigo 3, do mesmo DL, âmbito de aplicação, estão abrangidos os seguintes edifícios:

- a) Os novos edifícios, bem como os existentes sujeitos a grandes intervenções de reabilitação, desde que, o custo seja superior a 25% do valor do edifício, nos termos do RSECE e do RCCTE, independentemente de estarem ou não sujeitos a licenciamento ou a autorização, e da entidade competente para o licenciamento ou autorização, se for o caso;
- b) Os edifícios de serviços existentes, sujeitos periodicamente a auditorias, conforme especificado no RSECE;
- c) Os edifícios existentes, para habitação e para serviços, aquando da celebração de contratos de venda e de locação, incluindo o arrendamento, casos em que o proprietário deve apresentar ao potencial comprador, locatário ou arrendatário o certificado emitido no âmbito do SCE.

2.2.2 *Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE)*

O RSECE veio estabelecer um conjunto de requisitos, mais vocacionados à qualidade do ar interior, aplicáveis a edifícios de serviços e de habitação, dotados com sistemas de climatização, assim como na limitação de potência instalada nos sistemas de AVAC através do DL n.º 79/2006 [9].

O RSECE estabelece como principais objetivos:

- a) Definir as condições de conforto térmico e de higiene que devem ser requeridas nos diferentes espaços dos edifícios, em consonância com as respetivas funções;
- b) Melhorar a Eficiência Energética global dos edifícios, não só nos consumos para climatização mas em todos os tipos de consumos de energia que neles têm lugar, promovendo a sua limitação efetiva para padrões aceitáveis, quer nos edifícios existentes, quer nos edifícios a construir ou nas grandes intervenções de reabilitação de edifícios existentes;
- c) Impor regras de eficiência aos sistemas de climatização que permitam melhorar o seu desempenho energético efetivo e garantir os meios para a manutenção de uma boa qualidade do ar interior, quer a nível do projeto, quer a nível da sua instalação, quer durante o seu funcionamento, através de uma manutenção adequada;
- d) Monitorizar com regularidade as práticas da manutenção dos sistemas de climatização como condição da Eficiência Energética e da qualidade do ar interior dos edifícios.

De acordo com o previsto no ponto 1 do artigo 2 do DL, este regulamento tem como domínio de aplicação:

- a) Grandes edifícios ou frações autónomas de serviços, existentes e novos, com área útil superior a 1.000 m^2 , ou no caso de edifícios do tipo centros comerciais, supermercados, hipermercados e piscinas aquecidas cobertas, com área superior a 500 m^2 ;
- b) Novos pequenos edifícios ou frações autónomas de serviços com sistemas de climatização com potência instalada superior a 25 kW;
- c) Novos edifícios de habitação ou cada uma das suas frações autónomas com sistemas de climatização com potência instalada superior a 25 kW;
- d) Novos sistemas de climatização a instalar em edifícios ou frações autónomas existentes, de serviços ou de habitação, com potência instalada igual ou superior a 25 kW em qualquer tipologia de edifícios;
- e) Grandes intervenções de reabilitações relacionadas com a envolvente, as instalações mecânicas de climatização ou os demais sistemas energéticos dos edifícios de serviços;
- f) Ampliações dos edifícios existentes em que a intervenção não atinja o limiar definido para ser considerada uma grande intervenção de reabilitação.

Estabelece ainda no, artigo 4, requisitos exigenciais:

1. Os requisitos exigenciais de conforto térmico de referência para cálculo das necessidades energéticas, no âmbito do presente Regulamento, são os fixados no RCCTE, tendo ainda em conta que a velocidade do ar interior não deve exceder os 0,2 m/s e que quaisquer desequilíbrios radiativos térmicos devem ser devidamente compensados.
2. Os requisitos exigenciais da QAI são definidos e atualizáveis periodicamente por portaria conjunta dos ministros responsáveis pelas áreas da economia, das obras públicas, do ambiente, do ordenamento do território e habitação e da saúde em função dos progressos técnicos e das normas nacionais ou europeias aplicáveis e assentam em critérios de sucessivo maior rigor, conforme o que determinarem as seguintes circunstâncias:

- a. Valor mínimo de renovação do ar por espaço, em função da sua utilização e do tipo de fontes poluentes nele existente, nomeadamente as derivadas dos materiais de construção aplicados;
- b. Valores máximos das concentrações de algumas substâncias poluentes do ar interior, seja porque estas são reconhecidas como poluentes prioritários, seja porque podem funcionar como indicadores gerais do nível da QAI.

No atual RSECE, o desempenho energético de um edifício é resumido por um indicador específico de consumo de energia primária, o Indicador de Eficiência Energética (IEE), expressas em $\text{kgep}/\text{m}^2\cdot\text{ano}$. O IEE é calculado com base nas condições nominais de utilização, definidas consoante a tipologia do edifício. O RSECE determina a necessidade de efetuar a previsão dos consumos energéticos, sob condições nominais de utilização, recorrendo à simulação dinâmica multizona, utilizando um *software* de simulação que cumpra a norma ASHRAE 140-2004. O tema da simulação energética é desenvolvido no Capítulo 4.

A aplicação do RSECE, exige recorrer ao RCCTE, pois é neste regulamento que são definidas algumas das condições, como as de conforto térmico de referência, requisitos mínimos a adotar para as envolventes exterior e interior e fatores solares máximos dos envidraçados, etc. Além disso, são definidos no RCCTE alguns parâmetros, como os fatores de correção climática, indispensáveis na aplicação do RSECE.

Para os edifícios existentes, o valor apurado para o IEE nominal (IEE_{nom}) no caso de ser superior ao limite de referência ($\text{IEE}_{\text{ref. exist.}}$) referido no Anexo X do RSECE, o proprietário é obrigado a apresentar um Plano de Racionalização de Energia (PRE) à DGEG, tendo como foco a redução do consumo específico até ao limite regulamentar, sendo de execução obrigatória todas as medidas com viabilidade económica. Esta viabilidade económica afere-se através do cálculo do Período de Retorno Simples (PRS), que deverá ser inferior a oito anos. O indicador $\text{IEE}_{\text{real, faturação}}$ é calculada por análise simples das faturas energéticas dos últimos três anos, sem efetuar correção climática e utilizando o fator de conversão F_{pu} .

2.2.3 *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE)*

O RCCTE, publicada através do Decretos-lei nº. 80/2006, veio igualmente estabelecer requisitos de qualidade para os novos edifícios de habitação e de pequenos serviços sem sistemas de climatização, nomeadamente ao nível das características da envolvente (paredes, envidraçados,

pavimentos e coberturas), limitando as perdas térmicas e controlando os ganhos solares excessivos. Este regulamento impõe limites aos consumos energéticos da habitação para climatização e produção de águas quentes, num claro incentivo à utilização de sistemas eficientes e de fontes energéticas com menor impacto em termos de consumo de energia primária. A nova legislação determina também a obrigatoriedade da instalação de coletores solares e valoriza a utilização de outras fontes de energia renovável na determinação do desempenho energético do edifício [10].

O presente Regulamento estabelece as regras a observar no projeto de todos os edifícios de habitação e dos edifícios de serviços sem sistemas de climatização centralizados de modo que:

- a) As exigências de conforto térmico, seja ele de aquecimento ou de arrefecimento, e de ventilação para garantia de qualidade do ar no interior dos edifícios, bem como as necessidades de água quente sanitária, possam vir a ser satisfeitas sem dispêndio excessivo de energia;
- b) Sejam minimizadas as situações patológicas nos elementos de construção provocadas pela ocorrência de condensações superficiais ou internas, com potencial impacto negativo na durabilidade dos elementos de construção e na qualidade do ar interior.

As condições interiores de referência são as seguintes:

- a) As condições ambientes de conforto de referência são uma temperatura do ar de 20 °C para a estação de aquecimento e uma temperatura do ar de 25 °C e 50% de humidade relativa para a estação de arrefecimento;
- b) A taxa de referência para a renovação do ar, para garantia da qualidade do ar interior, é de 0,6 renovações por hora, devendo as soluções construtivas adotadas para o edifício ou fração autónoma, dotados ou não de sistemas mecânicos de ventilação, garantir a satisfação desse valor sob condições médias de funcionamento;
- c) O consumo de referência de água quente sanitária para utilização em edifícios de habitação é de 40 l de água quente a 60 °C por pessoa e por dia.

2.3 História e evolução

Como foi referido no Capítulo 1, Portugal não arrancou do zero e nem começou a dar os primeiros passos na área de edifícios a partir do regulamento atualmente em vigor. Foi desde a década de 80 que a Eficiência Energética foi considerada uma prioridade, não inicialmente no sentido de reduzir consumos energéticos, mas antes numa melhoria dos padrões de conforto [11].

Ao longo dos anos a construção de edifícios tem vindo constantemente a evoluir e a adotar soluções modernas com o intuito a melhorar o conforto interno e otimizar o espaço interior. Na figura 2.2 é ilustrada a evolução da construção das paredes, ocorrida em Portugal nos últimos 70 anos [12].

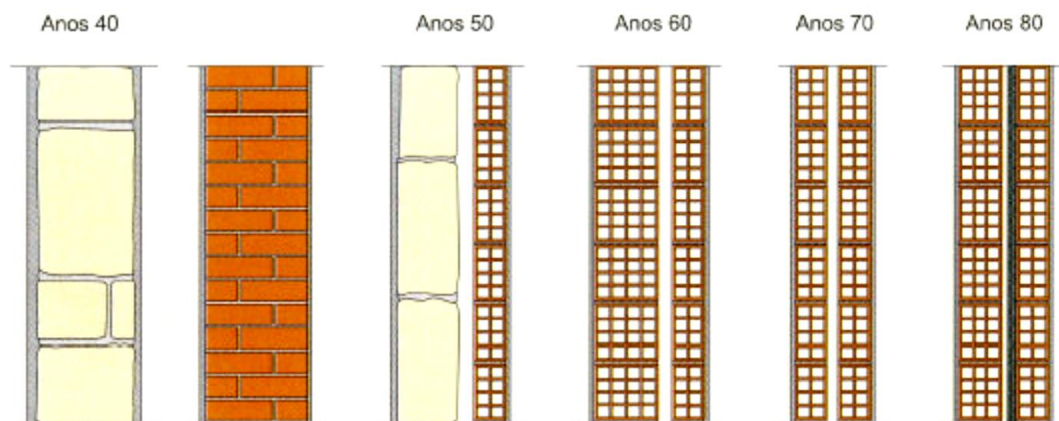


Figura 2.2 – Evolução das paredes no tempo

Decorria o ano 1982 quando o primeiro regulamento com objetivos de redução do consumo energético foi publicado através do DL n° 58/82 e pela portaria 359/82, com abrangência para todas e quaisquer instalações consumidoras intensivas de energia. Trata-se do Regulamento de Gestão do Consumo de Energia (RGCE). Para alcançar o objetivo tinha que ser observado pelo menos uma das seguintes condições [13]:

- O consumo total de energia primária registasse um valor superior a 1000 tep/ano, durante o último ano de atividade;
- A soma dos consumos de energia nominais dos equipamentos instalados excedesse 0,5 tep/hora;
- O consumo energético nominal de pelo menos um dos equipamentos instalados excedesse 0,3 tep/hora.

Para cumprimento das obrigações referidas anteriormente, deveriam as entidades proprietárias ou utentes que tivessem a responsabilidade das instalações dispor de técnicos ou entidades responsáveis de acordo com as disposições do regulamento que contemplava:

- Reconhecimento dos técnicos;
- Exames das instalações;
- Plano de racionalização:
 - O plano de racionalização estabeleceria obrigatoriamente metas de redução dos consumos específicos de energia por tipo de produto ou de instalação e cobrira o período de 5 anos.
- Controle de execução e progresso do plano de racionalização;
- Aprovação do plano de racionalização e do relatório anual;
- Penalidades;
- Disposições diversas.

Apesar de, desde o início da década de 80, existirem regras da qualidade térmica nos edifícios, só na década de 1990, foi publicada pelo Ministério da Indústria, Energia e Exportação, Direção-Geral de Energia, através do DL n.º. 40/90, de 6 de fevereiro, é que realmente houve a publicação de um regulamento, RCCTE, com implicações em todo o sector da construção de edifícios. Tinha como objetivo primordial salvaguardar as condições de conforto térmico sem necessidades excessivas de energia durante as estações de aquecimento e arrefecimento. Mais tarde, em 1991 entrou em vigor, após um arranque gradual ao longo de alguns anos, e constitui hoje uma base de trabalho excelente.

Em sintonia com o RCCTE, em 1992 é criado o Regulamento da Qualidade dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RQSECE). Contudo, a aplicação deste regulamento não foi efetiva devido à sua suspensão imposta pela Comunidade Europeia, por motivos de direito comunitário.

Em sua substituição foi elaborado posteriormente o RSECE, na redação do DL n.º 118/98, de 7 de maio 1998, aumentando assim as suas exigências. Este regulamento estabelecia regras no dimensionamento e instalação de sistemas de climatização, no entanto a sua aplicação revelou-se aquém das expectativas. Alguns dos motivos foram:

- Rendimentos mínimos exigidos aos equipamentos demasiadamente baixos;
- Falta de imposição nas qualificações dos projetistas;
- Não exigência na apresentação dos cálculos das cargas térmicas e do dimensionamento das centrais térmicas;
- Alguma indiferença por parte da maioria dos intervenientes no processo.

Desde os finais dos anos de 1990 até a data, tem vindo a intensificar claramente a tendência de crescimento da procura de sistemas de climatização em Portugal, desde os mais simples e de pequena dimensão, no setor residencial e dos pequenos serviços, aos sistemas complexos de grandes dimensões, sobretudo em edifícios do setor terciário.

O equipamento de escritório é responsável por uma parcela significativa e crescente do consumo total de eletricidade no setor terciário, como se descreve nas tabelas seguintes.

Tabela 2.1 - Eletricidade

Eletricidade em TWh/ano	Residencial	Terciário	Industria	Total UE-15
1990	2	27	8	37
2010 (sem medidas)	64	76	16	156
2010 (com medidas)	31	34	8	73

Tabela 2.2 – Emissões equivalentes CO₂

Emissões equivalente CO ₂ em Mt/ano	Residencial	Terciário	Industria	Total UE-15
1990	1	14	4	19
2010 (sem medidas)	29	34	7	70
2010 (com medidas)	14	15	4	33

Tabela 2.3 – Despesa com eletricidade em milhares de milhões de euros

Despesa com eletricidade em milhares de milhões de euros, a 0,10 euros/kWh	Residencial	Terciário	Industria	Total UE-15
1990	0.2	2.7	0.8	3.7
2010 (sem medidas)	6.4	7.6	1.6	15.6
2010 (com medidas)	3.1	3.4	0.8	7.3

O enquadramento da política ambiental para satisfazer o compromisso nacional, para limitar a produção de GEE no seu território, encontra-se explicitado na Resolução de Conselho de Ministros nº 59/2001, de 30 de maio, que aprovou a estratégia para as Alterações Climáticas, e na Lei 93/2001, de 20 de agosto, que criou instrumentos para prevenir as alterações climáticas e os seus efeitos, tendo sido apresentado, neste âmbito, o Plano Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC).

Através da Resolução do Conselho de Ministros nº 154/2001, de 19 de outubro, o governo português adotou formalmente o Programa E4 (**E**ficiência **E**nergética e **E**nergias **E**ndógenas) com o objetivo de *"...pela promoção da Eficiência Energética e da valorização das energias endógenas, contribuir para a melhoria da competitividade da economia portuguesa e para a modernização da nossa sociedade, salvaguardando simultaneamente a qualidade de vida das gerações vindouras pela redução de emissões, em particular do CO₂, responsável pelas alterações climáticas"*. O Programa E4 assume-se, assim, como um instrumento de primordial importância na estratégia para as alterações climáticas, dando um contributo decisivo no sentido do cumprimento das obrigações que Portugal assumiu ao subscrever o protocolo de Quioto [11].

A União Europeia publicou a 4 de janeiro de 2003 a Diretiva nº 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de dezembro, que tem como principal objetivo o melhoramento do comportamento térmico dos edifícios novos e reabilitados. A sua implementação nos diferentes estados foi até 2006 intervindo na climatização (aquecimento e arrefecimento), na iluminação e também ter especial atenção aos materiais usados na construção dos edifícios.

É pois, neste contexto, que o Ministério da Economia toma a iniciativa de lançar o Programa Nacional para a Eficiência Energética nos Edifícios (P3E), que surge, naturalmente, como o veículo

aglutinador de todas as medidas apontadas no E4 para os edifícios. O documento apresenta os objetivos, estratégia e eixos principais de atuação do Programa P3E, apontando as medidas legislativas, de incentivo e promocionais necessárias à sua concretização [11].

Em maio de 2008 é apresentado o Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética - Portugal Eficiência 2015 (PNAEE), é um plano de ação agregador de um conjunto de programas e medidas de Eficiência Energética, num horizonte temporal que se estende até ao ano de 2015. É orientado para a gestão da procura energética, conforme o âmbito do documento que lhe dá enquadramento, a Diretiva n.º 2006/32/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 5 de abril de 2006, relativa à eficiência na utilização final de energia e aos serviços energéticos, estando em articulação com o PNAC. A Diretiva estabelece como objetivo obter uma economia anual de energia de 1% até ao ano de 2016, tomando como base a média de consumos de energia final, registados no quinquénio 2001 - 2005 (aproximadamente 18.347 tep).

O PNAEE abrange quatro áreas específicas, objeto de orientações de cariz predominantemente tecnológico: Transportes, Residencial e Serviços, Indústria e Estado. Adicionalmente, estabelece três áreas transversais de atuação - Comportamentos, Fiscalidade, Incentivos e Financiamentos - sobre as quais incidiram análises e orientações complementares. Cada uma das áreas referidas agrega um conjunto de programas, que integram de uma forma coerente um vasto leque de medidas de Eficiência Energética, orientadas para a procura energética.

Recentemente foi aprovado em Conselho de Ministros o Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética para o período 2013-2016 (Estratégia para a Eficiência Energética - PNAEE 2016) e o Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis para o período 2013-2020 (Estratégia para as Energias Renováveis - PNAER 2020). O principal objetivo da revisão do PNAEE é projetar novas ações e metas para 2016, integrando as preocupações relativas à redução de energia primária para o horizonte de 2020, constantes da diretiva comunitária relativa à Eficiência Energética. Com o mesmo horizonte temporal do PNAEE, o PNAER é redefinido em função do cenário atual de excesso de oferta de produção de eletricidade decorrente de uma redução da procura, de forma a adequar e a mitigar os custos inerentes.

O plano mantém a aposta nas Fontes de Energia Renovável (FER), muito relevantes na promoção de um mix energético equilibrado, que reforce a segurança de abastecimento e diminua o risco da variabilidade do preço e respetivas implicações na fatura energética nacional, mas exige uma

maior seleção dos apoios, que devem ser direcionados para as FER com maior maturidade tecnológica e racionalidade económica, sem prejuízo de mecanismos de apoio às tecnologias em fase de Investigação e Desenvolvimento [6].

2.4 *Software Design Builder*

O programa utilizado ao longo do trabalho e que contribuiu com resultados significativos foi o *DesignBuilder*, versão 2.2.4.001. O programa *DesignBuilder* surge como um upgrade ao *software* americano *DOE*, sendo um programa de simulação de energia para climatização de edifícios. No entanto, adquiriu novas capacidades de simulação como intervalos de tempo mais curtos, sistemas modulares e de planta relativamente à distribuição de calor equilibrada por zona, distribuição de ar multizonal e conforto térmico. O *DesignBuilder* integra o *EnergyPlus*, permitindo realizar simulações muito abrangentes, construir o modelo geométrico e introduzir os dados relativos à construção, através da base de dados disponível no programa, e deixar que o *EnergyPlus* simule todo o modelo. O *DesignBuilder* facilita ao utilizador a criação e parametrização do modelo 3D, não havendo limitações geométricas 3D. Estão disponíveis elementos realísticos que fornecem de forma visual e imediata detalhes como espessuras de paredes, janelas e lajes. Dá uma boa visualização de áreas e volumes, sendo possível fazer predefinições que permitem a atribuição de dados e características de construção, atividades e ocupações e também é possível ao utilizador fazer as suas próprias predefinições, embora apresente limitações muito significativas do ponto de vista da parametrização do sistema de AVAC, disponibilizando poucas soluções para sistemas de produção térmica e ventilação e que muitas vezes se tornam pouco realistas.

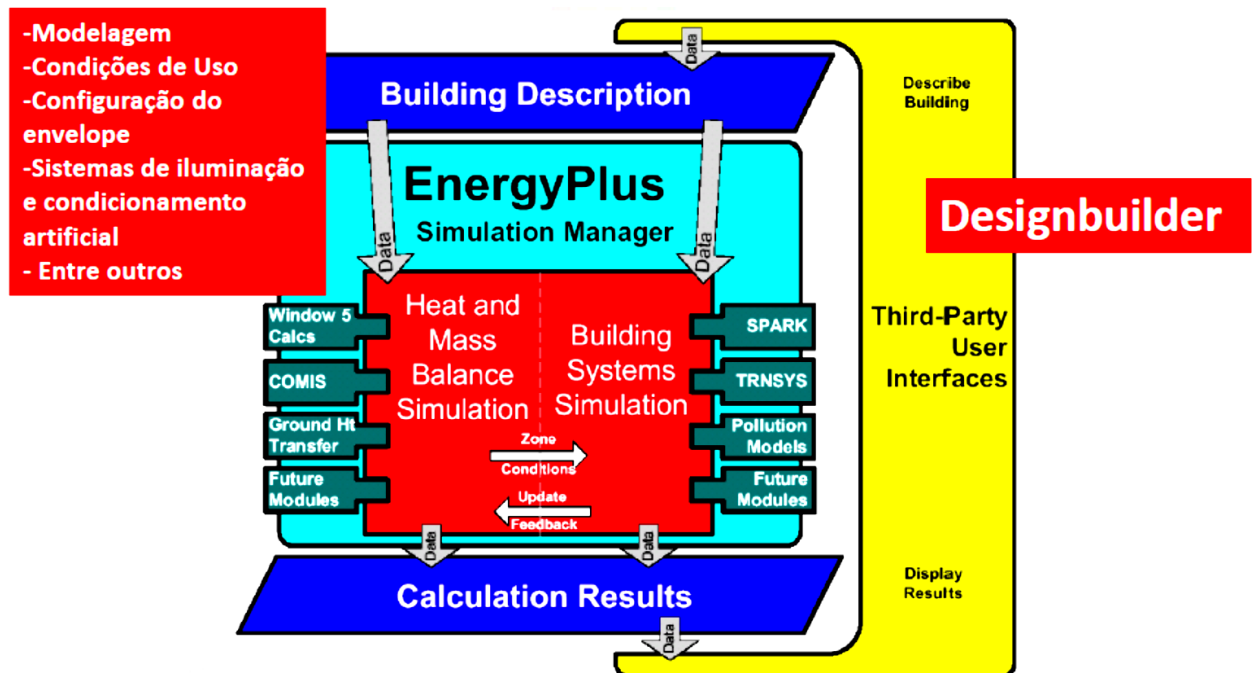


Figura 2.3 – Modo geral de funcionamento DB

O programa é estruturado segundo uma componente de gestão de simulação esquematizada, como se pode observar na figura 2.3, em que as cargas são calculadas segundo o módulo de simulação através de um balanço térmico com intervalos de tempo definidos, de seguida, o segundo módulo de simulação, que modela todo o sistema de climatização do edifício calculando quais as necessidades que o edifício tem de aquecimento e arrefecimento por fim, estas serão integradas no módulo de simulação do balanço térmico [14].

2.4.1 Modelo de cálculo do software

O *Design Builder* determina a carga térmica necessária para aquecer ou arrefecer um ambiente, ou seja, calcula a transferência de calor entre o exterior e o interior, através do balanço energético. Este cálculo é baseado no comportamento térmico e energético do edifício, tendo em conta o clima em que o edifício está inserido e os valores de cargas térmicas encontradas.

O *software* possui diversas características que o realçam, sendo essas características as seguintes:

- Cálculo de energia necessária para arrefecer ou aquecer um ambiente;
- Condução de calor transiente através dos elementos construtivos;

- Modelo de conforto térmico;
- Técnica de solução baseada no balanço de energia para as cargas térmicas dos edifícios;
- Fornece dados de saída de cada componente inserido no programa, possibilitando analisar a influência de cada parâmetro individualmente de acordo com o intervalo definido pelo usuário;
- Analisar a influência dos parâmetros em diversos tipos de clima, uma vez que o programa possui uma biblioteca com um grande número de arquivos climáticos.

O balanço de energia do *software* envolve processos de condução, convecção e de radiação os quais ocorrem em superfícies internas e externas para cada elemento do edifício.

A metodologia usada para o cálculo é baseada no fluxo de calor por convecção entre as temperaturas internas de cada superfície com a temperatura do ambiente no qual está inserida. A expressão que sintetiza o balanço de energia dentro da zona que o *EnergyPlus* utiliza é dada pela seguinte equação:

$$C_z \frac{dT_z}{dt} = \sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i + \sum_{i=1}^{N_{sup}} h_i A_i (T_{si} - T_z) + \sum_{i=1}^{N_{zonas}} \dot{m}_i C_p (T_{zi} - T_z) + \dot{m}_{inf} C_p (T_{inf} - T_z) + \dot{Q}_{sistema}$$

Onde:

$C_z \frac{dT_z}{dt}$ = energia armazenada no ar interior da zona

$\sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i$ = somatório dos ganhos internos convectivos

$\sum_{i=1}^{N_{sup}} h_i A_i (T_{si} - T_z)$ = transferencia convectiva de calor das superficies

$\sum_{i=1}^{N_{zonas}} \dot{m}_i C_p (T_{zi} - T_z)$ = trocas de calor por mistura de ar entre zonas (mixing)

$\dot{m}_{inf} C_p (T_{inf} - T_z)$ = trocas de calor por infiltração de ar exterior

$\dot{Q}_{sistema}$ = carga termica do sistema AVAC introduzida na zona

Esta equação inclui a variação da energia armazenada pelo ar da zona e o calor específico do mesmo [15].

Na figura 2.4 ilustra-se como é efetuado o balanço energético num edifício através da condução do calor pelas envolventes interiores e exteriores.

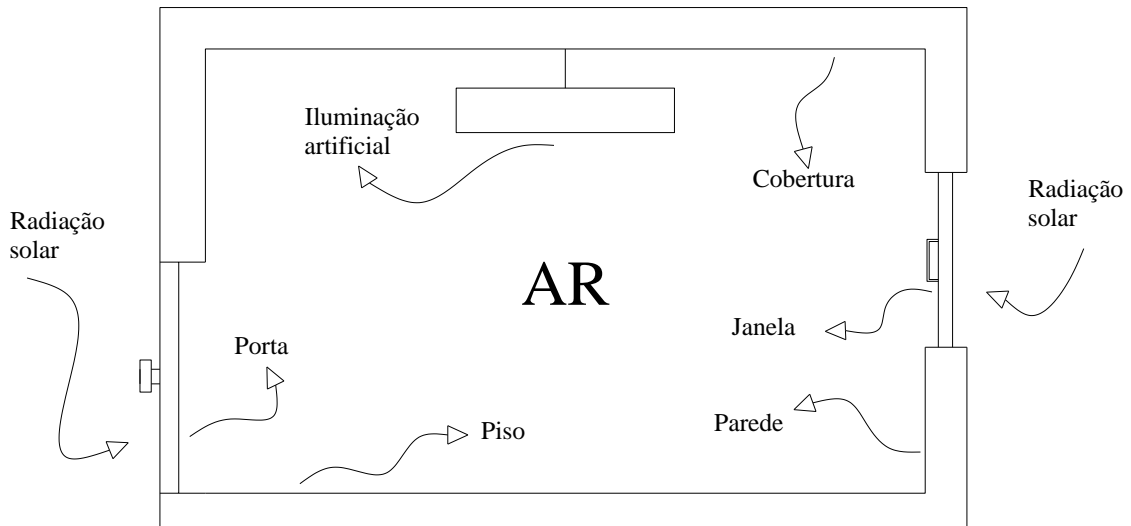


Figura 2.4 – Balanço energético num edifício

A simulação dinâmica em edifício através do programa é uma ferramenta imprescindível a um projetista, tendo vantagens inerentes à sua utilização, entre as quais se destaca:

- Maior precisão na previsão de cargas de climatização;
- Previsão de consumo energético anual;
- Possibilidade de quantificação dos efeitos, nos parâmetros referidos acima, de diferentes opções de projeto (*free-cooling*, sombreamento, isolamento térmico, tipo de vidro, acabamentos interiores, ventilação natural);
- Previsão do comportamento do edifício em situações extrema (ausência ou limitações no sistema de AVAC, carga térmica invulgar);
- Previsão de temperaturas de superfícies;
- Previsão de conforto térmico (modelo Fanger);
- Possibilidade de estudos dos efeitos da estratificação interior (*displacement ventilation*);

- Simulação dos efeitos energéticos de sistemas de iluminação sofisticados (incluindo iluminação natural).

A nível regulamentar, a simulação dinâmica detalhada serve principalmente para determinar os consumos elétricos de aquecimento e arrefecimento associados ao sistema de climatização com o intuito de calcular o IEE, e para se fazer o controlo das potências de climatização instaladas dentro das conformidades regulamentares.

Na *figura 2.5* ilustra-se com maior precisão os INPUTS do *software*.

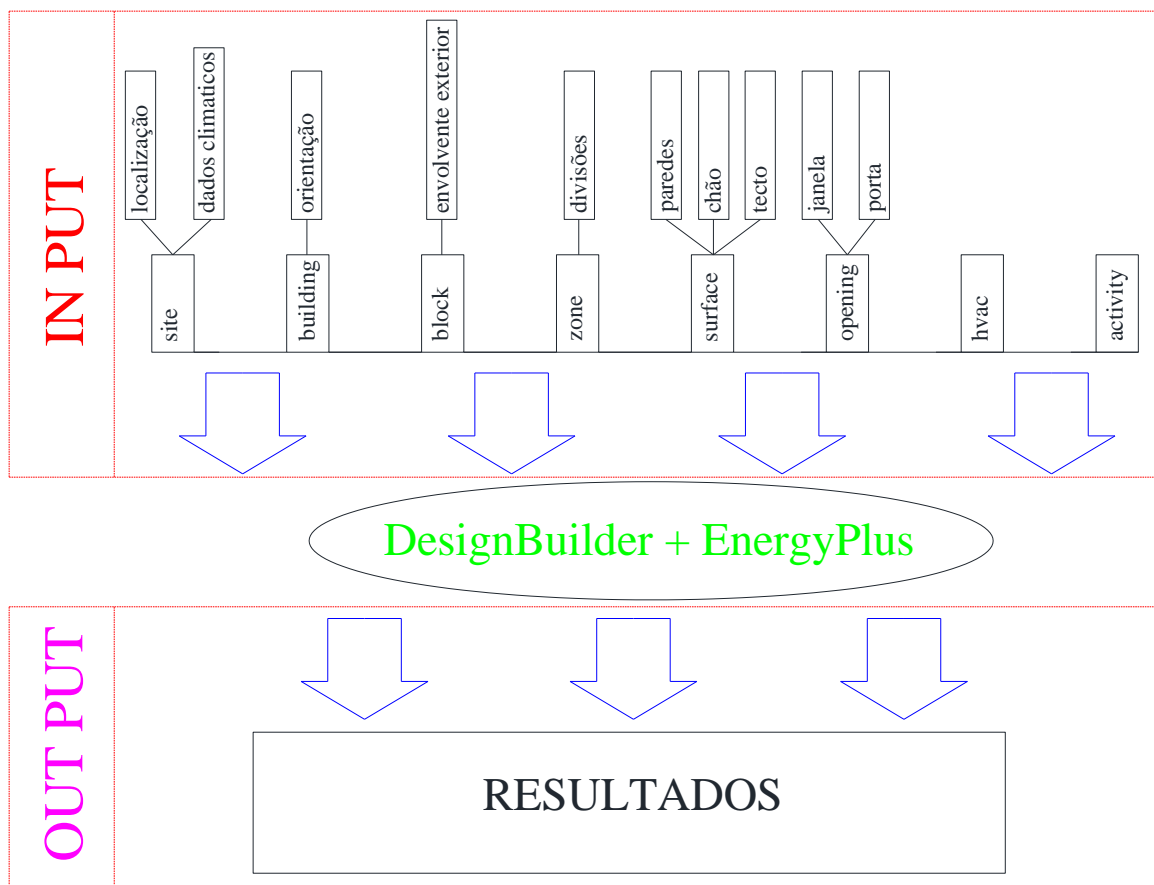


Figura 2.5 – INPUT / OUTPUT DesignBuilder

Capítulo 3

CASO DE ESTUDO

3.1. Introdução

3.2. Recolha de informação

3.3. Descrição pormenorizada do edifício

3.1 Introdução

Neste capítulo apresenta-se o caso de estudo, o edifício X da FCT, Departamento da Engenharia Eletrotécnica. Descreve-se a sua localização, soluções construtivas, sistemas de climatização, utilização dos espaços e histórico do consumo energético. Apresentam-se as variáveis da edificação que influenciam o comportamento térmico do edifício que posteriormente serão introduzidos nos *INPUTS* do programa *DesignBuilder* para a simulação energética.

3.2 Recolha de informação

A primeira fase deste trabalho consistiu no levantamento tão detalhado quanto possível da informação significativa do edifício em estudo. Esse levantamento deu-se nas várias visitas efetuadas ao edifício X e à Divisão de Apoio Técnico, Seção de Planeamento Físico e Ambiental Campus Verde, com receção de alguma informação em suporte digital e através de consultas aos *dossiers* das finais do edifício em estudo.

O processo de levantamento de informação permitiu assim reunir os seguintes elementos:

- Plantas de arquitetura e estruturas;
- Projetos de climatização (AVAC);
- Horários de utilização dos espaços;

- Ocupação, iluminação e equipamentos existentes;
- Histórico dos consumos de energia, através da compilação de faturas energéticas;
- Outras informações relevantes.

3.3 Descrição pormenorizada do edifício

O edifício X, DEE, está situado no campus da FCT – UNL, no Monde da Caparica, concelho de Almada, distrito de Setúbal. O DEE encontra-se a uma latitude de 38°39' N, longitude 9°12' W e a uma altitude de 95 m. O edifício em causa é considerado um Grande Edifício de Serviços, segundo o RSECE, conforme o qual os “ *Grandes Edifícios de Serviços são todos os edifícios não residenciais, com ou sem sistemas de climatização, que tenham mais de 1000 m² de área útil de pavimento...*” [9].

Trata-se de um edifício autónomo ao nível dos seus sistemas térmicos e de tratamento ambiental com as seguintes características como se vê na tabela 3.1 e tem como principal objetivo formar futuros engenheiros, agregando investigações científicas e atividades de serviços como gabinetes e escritórios.

Tabela 3.1 – Dados gerais do edifício

Edifício	Edifício X
Departamento	Departamento da Engenharia Eletrotécnica
Ano de construção	2000
Localização	Quinta da Torre, Almada
Área útil	4116,3 m ²
Pé direito médio (m)	2,9 m
Nº de pisos	4

O edifício tem uma área bruta total de 6287 m² e apenas uma área de 728,6 m² é climatizada como mais à frente e especificada.



Figura 3.1 – Edifício X – DEE

3.3.1 *Forma e localização do edifício*

O DEE está perfeitamente alinhado com a direção norte como esquematiza a *figura 3.2* e mede uma altura média de 14,6 m. Este edifício de planta aproximadamente retangular, desenvolve-se segundo o maior eixo norte-sul em três pisos completos – Pisos 1, 2 e 3 – e inclui um Piso 0 semienterrado. Possui duas chaminés, a sul da edificação, das quais uma faz a ventilação natural ao edifício, especificamente ao Piso 0 e a outra serve de tubo de expulsão de gases da combustão e tubo de gases de escape do grupo gerador.

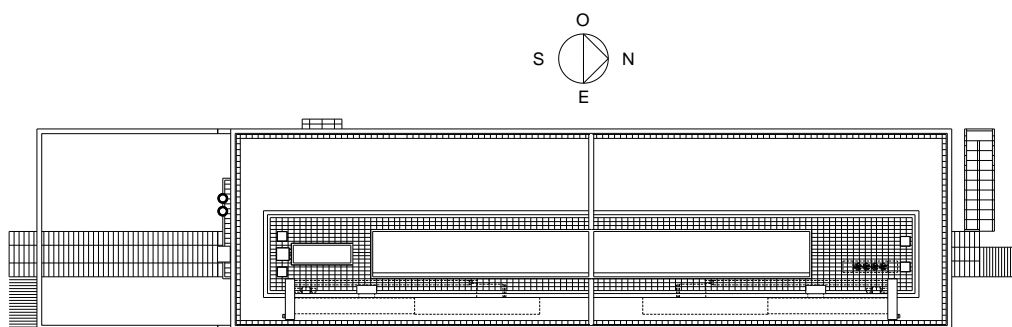


Figura 3.2 – Planta e orientação do DEE

A figura 3.3 ilustra a fachada principal por onde se efetuam o acesso normal ao edifício a nível do Piso 1 no topo norte e também a altitude média do nível do mar que se encontra o DEE.

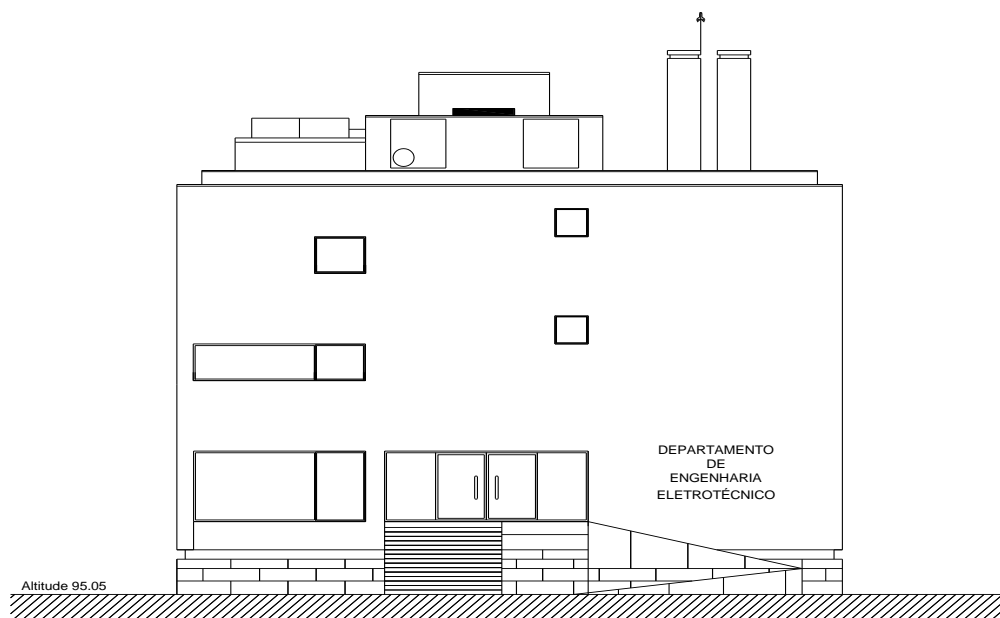


Figura 3.3 – Topo Norte do DEE

Na figura 3.4 observa-se a fachada Oeste do edifício por onde também é possível aceder ao mesmo, mas somente nas condições de serviço. Este acesso é vedado aos estudantes. Igualmente pode-se observar a galeria na cobertura por onde se faz a iluminação natural aos corredores interiores do edifício.

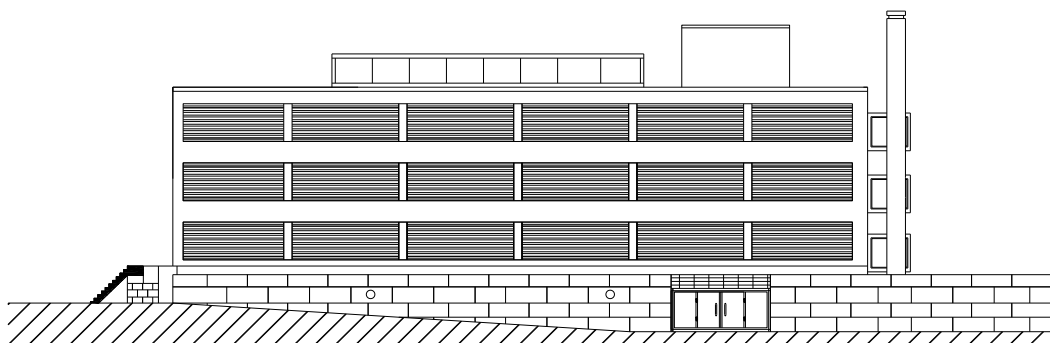


Figura 3.4 – Fachada Poente do DEE

Na figura 3.5 observa-se a fachada Este da edificação, onde no topo sul do edifício vê-se as varandas que compõem os Pisos 1, 2 e 3.

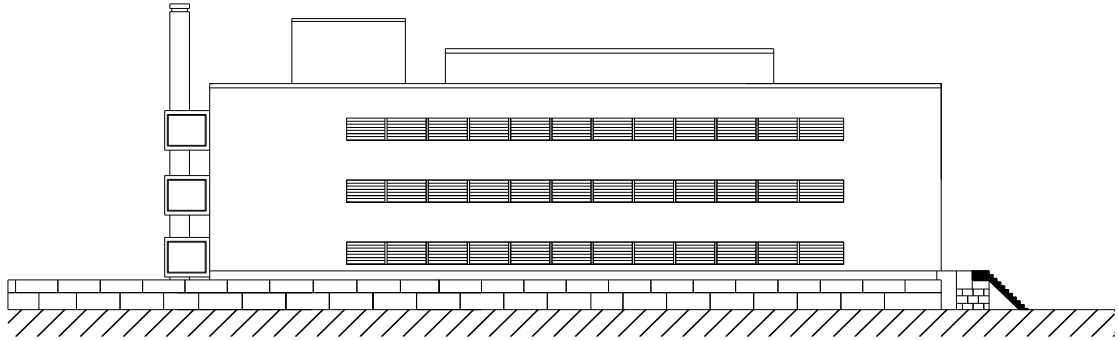


Figura 3.5 – Fachada Nascente do DEE

Na figura 3.6, nota-se a retaguarda do edifício por onde no Piso 0 topo sul também se pode dar o acesso ao mesmo, mas igualmente somente para entrada de serviço.

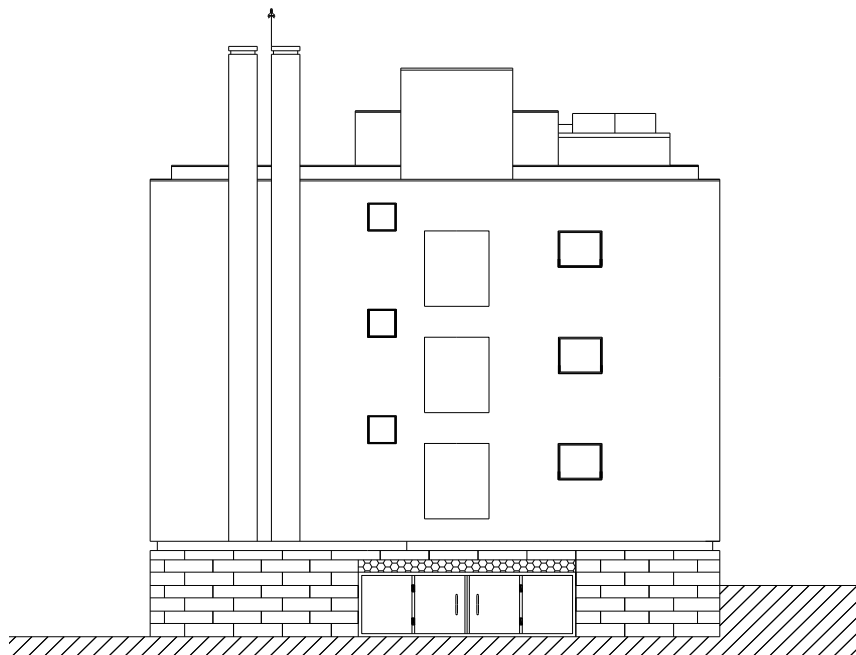


Figura 3.6 – Topo Sul do DEE

O edifício internamente caracteriza-se por possuir longitudinalmente uma circulação central em grande parte da sua extensão circulando um vão central que se desenvolve assim num pé direito triplo,

encimado por uma galeria superior. Os acessos aos diversos espaços fazem todos a partir dos patamares de distribuição dos respetivos níveis estruturando-se na **Tabela 3.2**.

Tabela 3.2 – Distribuição de espaços do edifício

	Fachada Nascente	Fachada Poente
Piso 1	<ul style="list-style-type: none"> - Gabinetes e salas diversos dos serviços diretivos, administração e de apoio; - Espaço técnico, sala de reuniões e de estudo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Laboratórios diversos; - Sala de aula.
Piso 2	<ul style="list-style-type: none"> - Gabinetes de docentes. 	<ul style="list-style-type: none"> - Laboratórios diversos.
Piso 3		

Correspondendo assim de um modo geral a uma partição funcional clara entre conjuntos de espaços com utilização similar.

As características térmicas das envolventes do edifício em estudo podem ser consultadas em maiores pormenores nos anexos.

3.3.2 **Piso 0**

O Piso 0, por ser a base da estrutura, apresenta uma configuração na edificação que o difere perante os outros pisos, como se comprova na figura seguinte. É usado para vários fins conforme se pode confirmar na *tabela 3.3*, contabilizando uma área total interna de 1.644,8 m² e não é climatizado com aquecimento e arrefecimento, à exceção da oficina de manutenção. Contém, além dos equipamentos para a climatização, como a caldeira (que mais a frente será descrita pormenorizadamente), permutador de calor e os Ventiladores de Extração (VE).

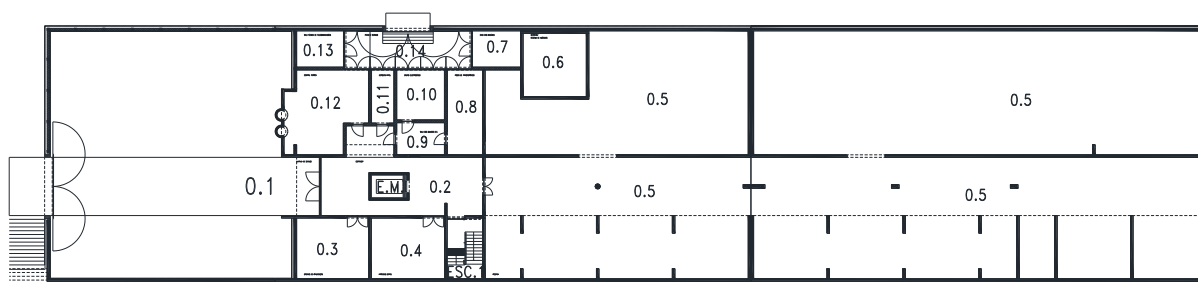


Figura 3.7 – Planta interior Piso 0 – DEE

O Piso 0 inicialmente foi previsto para ocupação permanente nula, mas tal não aconteceu nos últimos anos, tendo sido utilizado para vários fins académicos, sobretudo o espaço designado como Reserva, conforme a tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Dados de arquitetura do Piso 0

<i>Nº</i>	<i>Designação</i>	<i>Área [m²]</i>
0.1	Entrada de serviço e Pátio	377,4
0.2	Corredor	56,4
0.3	Oficinas de Manutenção	27,4
0.4	Armazéns Gerais	27,8
0.5	Reserva	974,0
0.6	Depósito/Reserva de Incêndios	25,0
0.7	Casa das Máquinas	10,9
0.8	Posto de Transformação	18,6
0.9	Sala dos Quadros B.T.	9,4
0.10	Grupo Eletrogéneo	14,8
0.11	Depósito Papel	7,4
0.12	Central Térmica	38,1
0.13	Sala Técnica de Telecomunicação	10,6
0.14	Pátio de Serviço	28,9
E.M.	Elevador / Monta-Cargas	5,1
ESC.1	Caixa de Escada	13

O Piso 0 é composto por betão nas envolventes exteriores e nos interiores, tendo apenas no revestimento exterior pedras em placagem de calcário, como se pode ver na *Figura 3.8*.

Como anteriormente designado, a edificação contém duas chaminés, com uma espessura de 15 cm da parede e contém um raio externo de 0,5 m, com ligação direta à central térmica, localizada no Piso 0 onde faz ventilação natural.

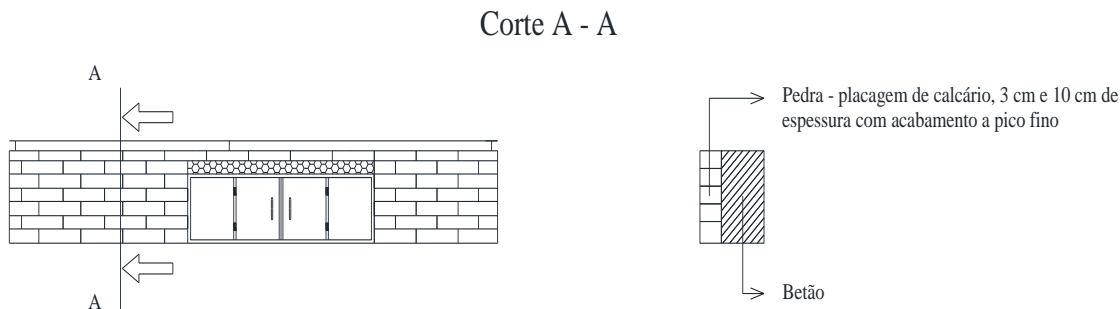


Figura 3.8 – Parede exterior do Piso 0

O chão do piso 0 tem as características de construção ilustradas na *figura 3.9*.

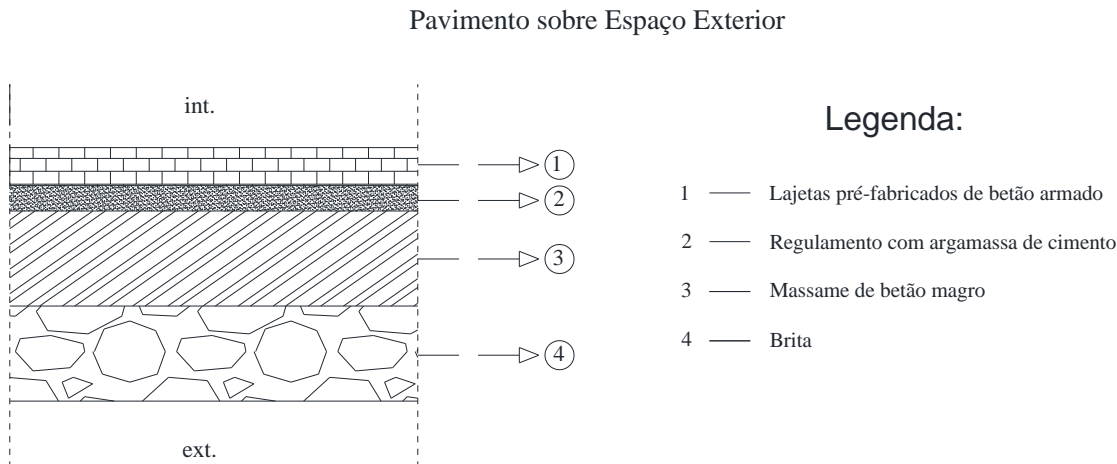


Figura 3.9 – Chão, piso 0

3.3.3 Piso 1

O Piso 1 é por onde se dá o acesso principal ao edifício DEE. Apresenta a seguinte configuração conforme se representa na figura seguinte contabilizando uma área total interna de 1.265,5 m². Tem a particularidade de apenas metade do piso ser climatizado, como se observa na tabela 3.4.

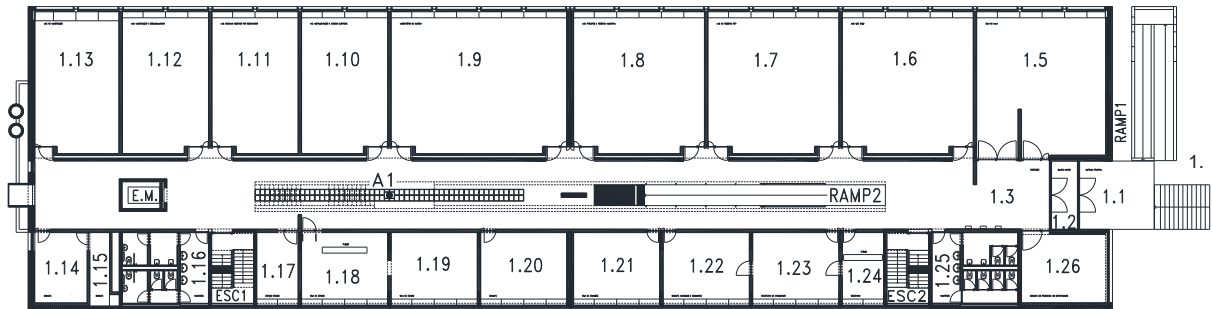


Figura 3.10 – Planta interior do Piso 1

Tabela 3.4 – Dados de arquitetura do Piso 1

Nº	Designação	Climatizado		Área [m²]	Ocupação prevista
		Sim	Não		
1.	Rampa1 + Escada		x	40,8	0
1.1	Entrada Principal			22,1	
1.2	Corta - Vento			8,0	
1.3	Corredor			258,3	
1.5	Sala de Aula			82,0	30
1.6	Lab. MDE SIMM				25
1.7	Lab. de Robótica STR				25
1.8	Lab. Projetos e Robótica Industrial				25
1.9	Laboratório de Energia			110,7	25
1.10	Lab. Instrumentação e Medidas Elétricas			53,0	25
1.11	Lab. Desenho Assistido por Computador				
1.12	Lab. Investigação e Desenvolvimento				
1.13	Lab. de Investigação				

1.14 1.15	Gabinete	x		23,5*	2
1.16 1.25	Sanitários	VE		25,0	0
1.17	Espaço Técnico	x		13,1	0
1.18 1.19	Sala de Estudo			27,4	10
1.20	Gabinete				2
1.21	Sala de reuniões	20			
1.22	Gabinete Académico e Seminários	15			
1.23	Secretaria de Atendimento	3			
1.24	Secretaria	x		13,1	2
1.26	Gabinete do Presidente do DEE			25,9	
E.M.	Elevador/Monta-cargas		x	5,1	0
Esc1 Esc2	Caixa de escada			13,0	
A1	Armários			14,0	
Ramp2	Rampa 2			34,4	

As paredes exteriores são compostas por betão, caixa-de-ar, isolamento térmico, tijolo e estuque no interior, como consta na *figura 3.11*. Regista uma espessura total de 46 cm.

Parede Dupla de Fachada

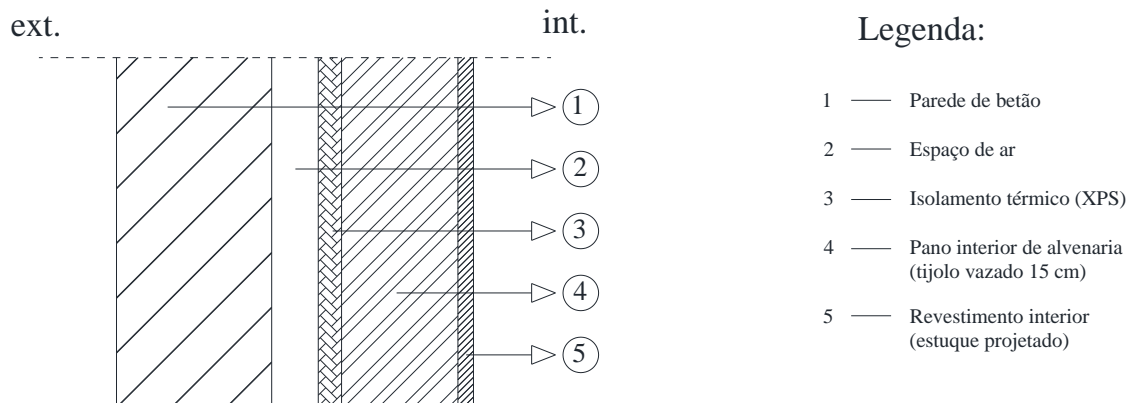


Figura 3.11 – Parede exterior DEE

Nas divisões internas, a solução construtiva assume o formato conforme se verifica na *figura 3.12* e mede uma espessura total de 24 cm.

Parede Simples de Fachada

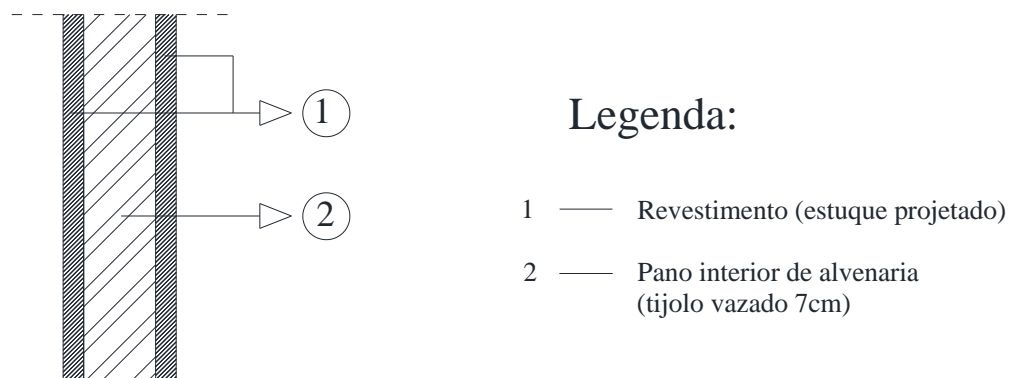


Figura 3.12 – Parede interior DEE

Os tetos do DEE apresentam configurações construtivas como se vê na *figura 3.13* e medem uma espessura total de 52 cm.

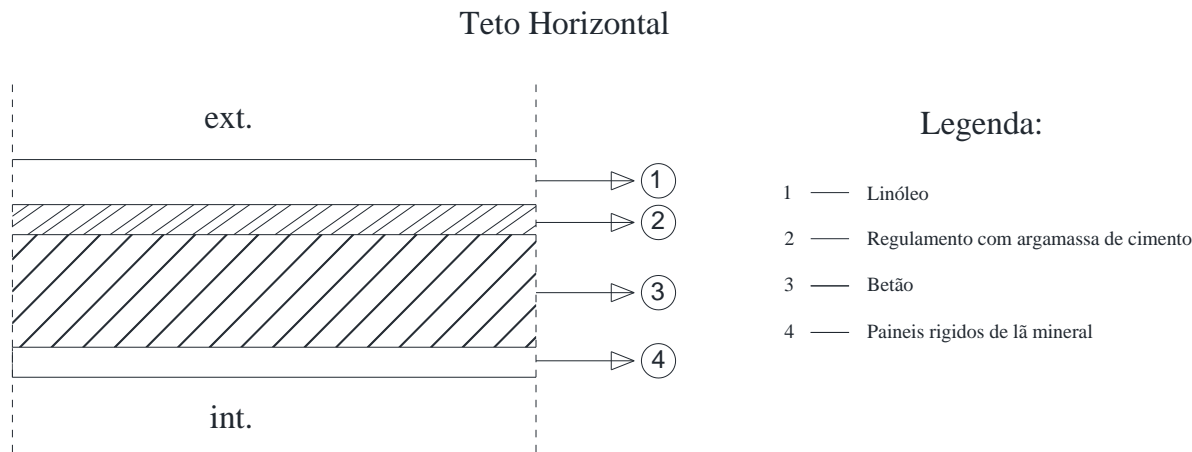


Figura 3.13 – Tetos DEE

3.3.4 Piso 2

O Piso 2, semelhante ao Piso 1, no que toca as soluções construtivas como envolvente exterior, interior, assim como o teto, designadas na *figura 3.11*, *figura 3.12* e *figura 3.13*, apresenta a seguinte configuração, como se representa na figura seguinte e contabiliza uma área total interna de 1.280,7 m^2 . Tem identicamente o pormenor de apenas uma metade do piso ser climatizado como se verifica na tabela 3.5.

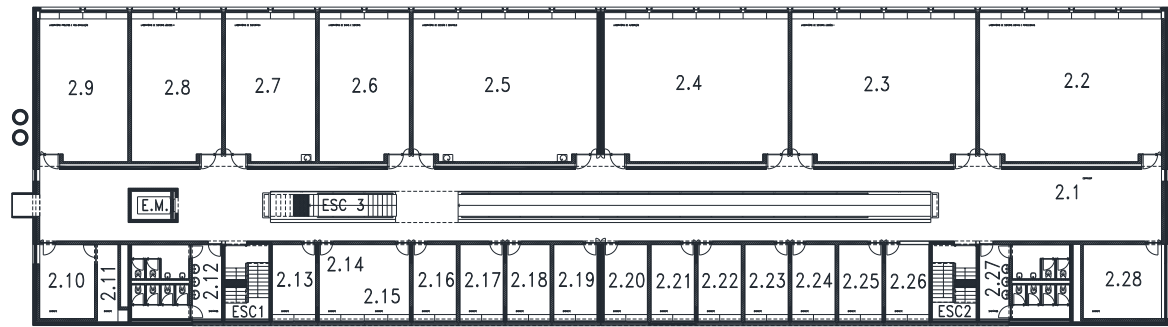


Figura 3.14 – Planta interior do Piso 2

Tabela 3.5 – Dados de arquitetura do Piso 2

Nº	Designação	Climatizado		Área [m²]	Ocupação prevista
		Sim	Não		
2.1	Corredor		x	319,1	0
2.2	Lab. de Sistemas Digitais e Percecionais			110,7	25
2.3	Lab. Sistemas Lógicos I				
2.4	Lab. de Automação				30
2.5	Lab. de Decisão e Controlo			54,2	
2.6	Lab. de Sinais e Sistemas			25	
2.7	Lab. de Sistemática				
2.8	Lab. Sistemas Lógicos II				
2.9	Lab. Projetos e Pós-graduação				
2.10	Gabinete	x		23,5*	2
2.11					
2.12	Sanitários	VE		25,0	0
2.27					
2.13	Gabinete	x		13,1	2
2.14					
2.15					
2.16					
2.17					
2.18					
2.19					
2.20					
2.21					
2.22					
2.23					
2.24					
2.25					
2.26					
2.28	Gabinete	x		23,7	3
E.M.	Elevador/Monta - carga		x	5,1	0
Esc3	Escada 3			16,3	

3.3.5 Piso 3

O Piso 3, praticamente idêntico aos dois pisos inferiores, nas soluções construtivas exteriores, interiores e teto, designadas na *figura 3.11*, *figura 3.12* e *figura 3.13*, apresenta a seguinte configuração como se confere na imagem seguinte e mede uma área total interna de 1.252,8 m². À semelhança dos pisos inferiores, Piso 1 e 2, é equitativamente climatizado apenas uma metade, como se observa na *Tabela 3.6*.

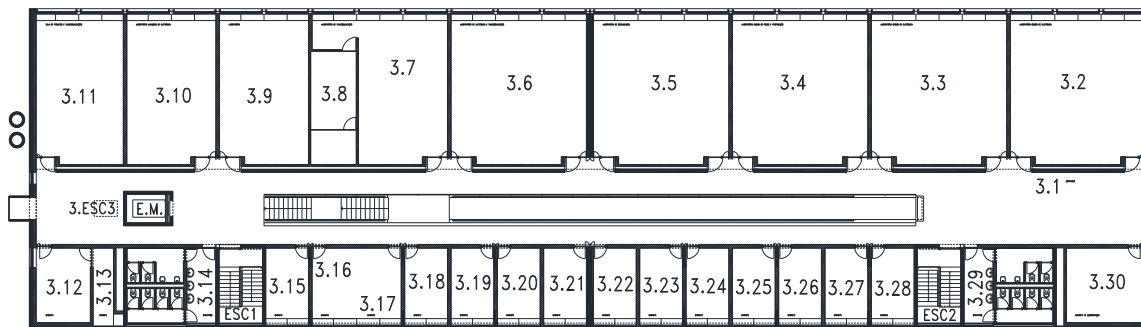


Figura 3.15 – Planta interior do Piso 3

Tabela 3.6 – Dados de arquitetura do Piso 3

Nº	Designação	Climatizado		Área [m ²]	Ocupação prevista
		Sim	Não		
3.1	Corredor			319,1	0
3.2	Laboratório Básico de Eletrónica		x	80,9	25
3.3					30
3.4					
3.5	Lab. de Comunicação				25
3.6	Lab. de Eletrónica e Telecomunicações		x	80,9	
3.7	Laboratório de Telecomunicações			80,9*	
3.8					
3.9	Laboratório				
3.10	Lab. Avançado de Eletrónica			54,2	
3.11	Sala de Projetos e Telecomunicações				
3.12	Gabinete	x		23,5*	2
3.13					
3.14	Sanitários	VE		25,0	0
3.29					

3.15	Gabinete	x		13,1	2
3.16					
3.17					
3.18					
3.19					
3.20					
3.21					
3.22					
3.23					
3.24					
3.25					
3.26					
3.27					
3.28					
3.30	Gabinete de Coordenação	x		23,7	3
E.M.	Elevador/Monta - carga		x	5,1	0
Esc4	Escada 4			--	

Tem como característica de construção, a destacar, a cobertura do Piso 4, como se pode conferir na *figura 3.16*.

Cobertura Horizontal (Terraço)

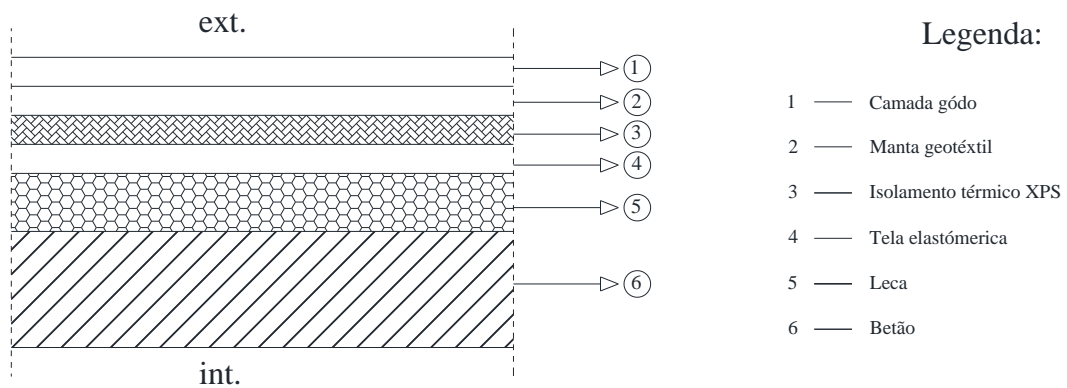


Figura 3.16 – Cobertura do Piso 4

As características dos elementos que fazem a fronteira entre o edifício e o ambiente exterior, definem, do ponto de vista energético, a qualidade do edifício. O material que constitui a fachada exterior de um edifício também influencia as condições de conforto no seu interior. O principal aspeto a ter em conta é a inércia térmica do material e o seu poder isolante. O isolamento térmico previne a transferência de calor por condução entre o interior e o exterior de um edifício, diminuindo assim os custos para aquecimento e/ou arrefecimento, pelo que consequentemente diminui os consumos de energia.

3.3.6 Janelas e Portas

As janelas do DEE possuem todos vidros duplos transparentes como se segue nas figuras seguintes, *figura 3.17* e *figura 3.18*. Possuindo uma espessura de 6 mm para os vidros e 8 mm para o ar que os separa. As portas internas são constituídas por painel de favo com orla de faia, recoberto por contraplacado folheado de faia 6 mm de espessura. As únicas portas onde possuem vidro laminado simples com 12 mm de espessura localizam-se nas principais entradas ao edifício. Uma na entrada de serviço, Piso 0 e outras no Piso 1, entrada principal e corta-vento.

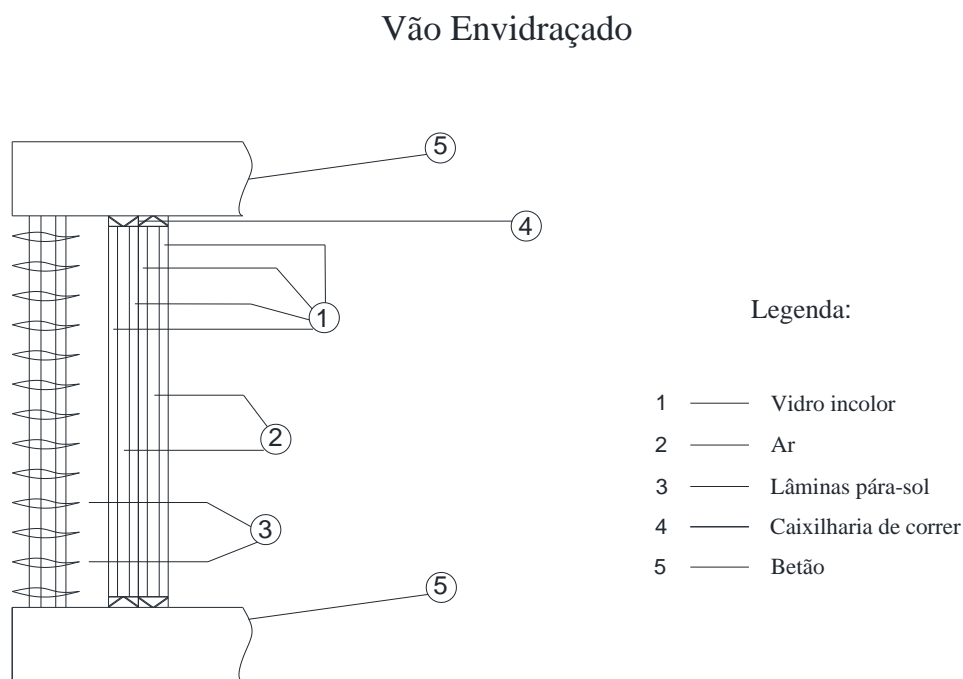


Figura 3.17 – Janela Oeste

Os envidraçados existentes na janela Oeste constituem mais de 50% da área de fachada, sendo permitida a abertura (apesar de, regra geral, os ocupantes não servirem desta funcionalidade). Contem as características como se observa na tabela 3.7.

Tabela 3.7 – Características da janela Oeste

Altura	2,5 m
Comprimento	2,6 m
Tipo de vidro	Duplo
Caixilho	Alumínio

Vão Envidraçado

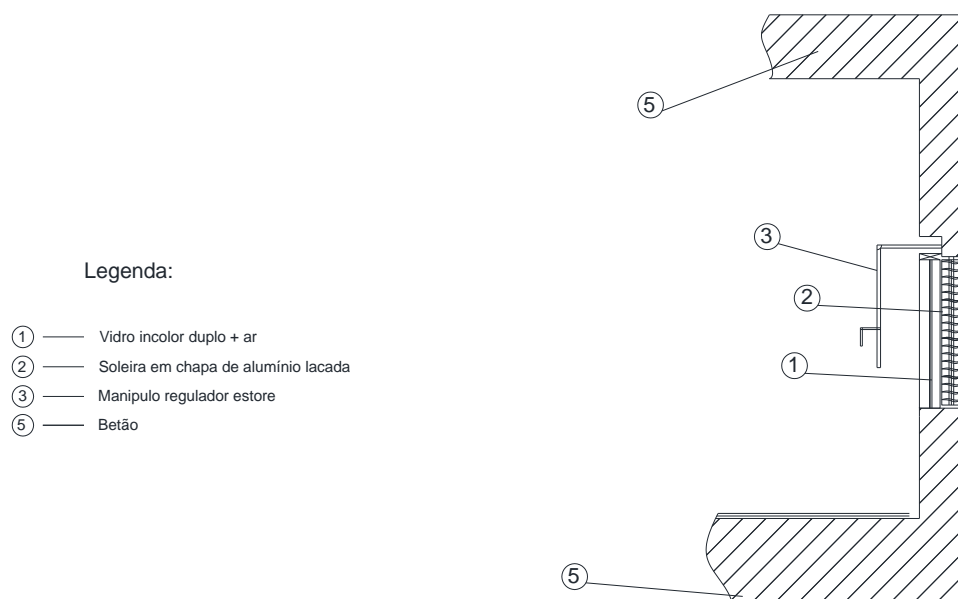


Figura 3.18 – Janela Este

Os envidraçados existentes na janela Este constituem menos de 50% da área de fachada, sendo permitida igualmente a abertura. Contém as características como se observa na tabela 3.8.

Tabela 3.8 – Características da janela Este

Altura	1,05 m
Comprimento	2 m
Tipo de vidro	Duplo
Caixilho	Alumínio

O sombreamento é feito pelo exterior somente na fachada Este e Oeste recorrendo a soleira em “chapa de alumínio lacada” e “lâminas para-sol tipo Naco TP21/Manuel Ferreira”, os quais existem na generalidade dos envidraçados. O sistema é manual e, por norma, é acionado pelos ocupantes quando existe a necessidade, para controlo de conforto térmico.

3.3.7 Iluminação

Foi efetuado um levantamento tão profundo quanto possível das diferenças entre o projeto de iluminação inicial e a iluminação real existente em todo o edifício. Constatou-se que existiram algumas alterações, nomeadamente ao nível lâmpadas utilizadas, algo que o projeto não contemplava.

A iluminação do edifício X, é composta de 5 formas em que cuja armadura são:

- Armadura do tipo spot – no teto;
- Armadura de iluminação fluorescente;
- Armadura de iluminação fluorescente com difusor;
- Armadura de iluminação normal aplicada com kit de emergência.
- Armadura com localização definitiva em função do equipamento de AVAC.

Uma fração significativa da iluminação existente é feita por armadura do tipo spot no teto, através de lâmpadas fluorescentes. As instalações sanitárias são dotadas de células de presença.

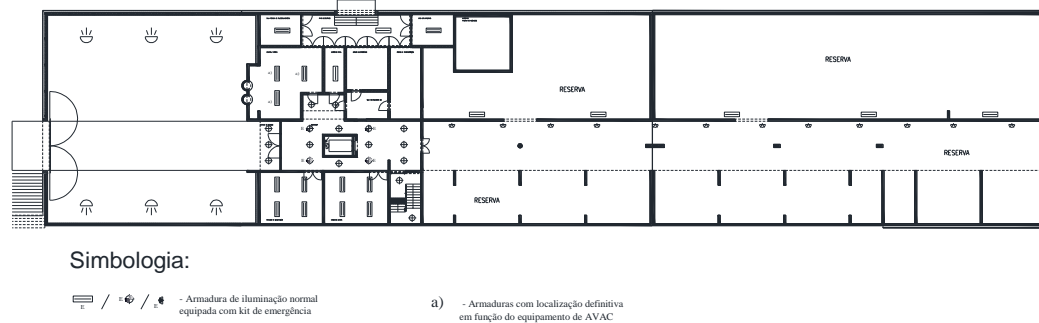


Figura 3.19 – Iluminação do Piso 0

As características da iluminação, assim como a configuração, para o Piso 0, observam-se na figura antecedente. Na *tabela 3.9* observa-se a quantidade de lâmpadas do projeto inicial e totaliza uma potência de iluminação de 3,1 kW.

Tabela 3.9 – Potência de iluminação do Piso 0

Nº	Designação	Quantidade	Nº de lâmpada	Potência [W]
0.1	Entrada de serviço	6	1	70
		3	1	26
0.2	Corredor	7	2	9
		6	2	9
0.3	Oficinas de manutenção	4	2	36
0.4	Armazéns gerais	4	2	36
0.5	Reserva	12	1	60
		5	1	36
0.7	Casa das máquinas	1	2	58
0.11	Depósito papel	1	1	58
0.12	Central térmica	3	2	58
0.13	Sala técnica de telecomunicação	1	2	58
0.14	Pátio de serviço	2	1	58
E.M.	Elevador / Monta-Cargas	1	1	60
ESC.1	Caixa de Escada	2	4	9

Igualmente ao que sucede na iluminação do Piso 1, ocorre nos restantes pisos, i.e. Piso 2 e Piso 3, mas com ligeiras diferenças por haver maior número de gabinetes. A figura 3.20 representa a configuração de iluminação para o Piso 1.

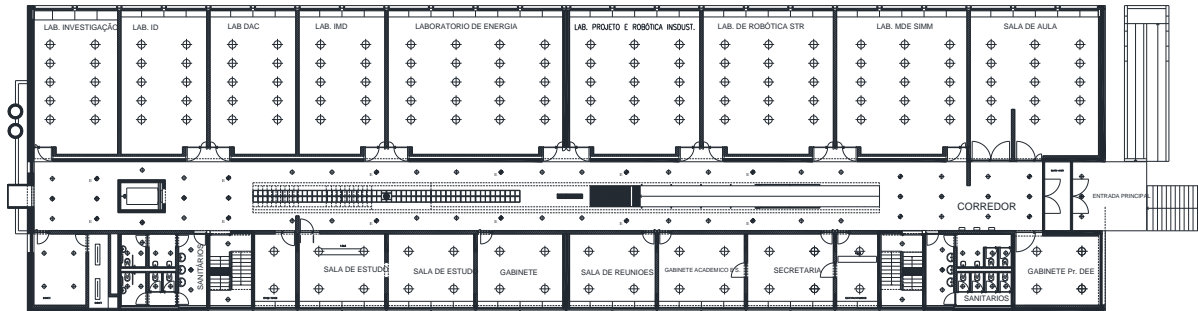


Figura 3.20 – Iluminação do Piso 1

A potência total de iluminação para os Pisos 1, 2 e 3 é de 98,8 kW. Na *tabela 3.10* observa-se a quantidade do balastro e número de lâmpadas projetadas inicialmente para o Piso 1.

Tabela 3.10 – Potência de iluminação do Piso 1

<i>Nº</i>	<i>Designação</i>	<i>Quantidade</i>	<i>Nº de lâmpada</i>	<i>Potência [W]</i>	
1.1	Entrada principal	3	1	26	
1.3	Corredor	12	2	9	
		28	4		
		6	2		
		8			
1.5	Sala de aula	15	3	26	
1.6	Lab. MDE SIMM				
1.7	Lab. de Robótica STR				
1.8	Lab. Projetos e Robótica Industrial				
1.9	Laboratório de Energia	20	3		
1.10	Lab. Instrumentação e Medidas Elétricas	10			
1.11	Lab. Desenho Assistido por Computador				
1.12	Lab. Investigação e Desenvolvimento				
1.13	Lab. de Investigação				
1.14	Gabinete	4	2	9	

1.15	Gabinete	2	1	36
1.16 1.25	Sanitários	3	2	9
		4		
1.17	Espaço Técnico	2	3	26
1.18 1.19	Sala de Estudo	4		
1.20	Gabinete			
1.21	Sala de reuniões			
1.22	Gabinete Acadêmico e Seminários			
1.23	Secretaria de Atendimento			
1.24	Secretaria	2		
1.26	Gabinete do Presidente DEE	4		
E.M.	Elevador/Monta-cargas	1	1	60
Esc1 Esc2	Caixa de escada	2	4	9

3.3.8 Sistema de climatização

As características do sistema de AVAC do DEE são indicadas nas tabelas seguintes e caracterizadas em maior pormenor no anexo B. Como ficou patente na tabela 3.4, tabela 3.5 e tabela 3.6, apenas uma metade da edificação do DEE é climatizada. Esta opção foi alterada em relação ao projeto inicial que abrangeria a climatização aos Pisos 1, 2 e 3 em toda sua envolvente. As pré-instalações para acolher os sistemas de aquecimento e arrefecimento existem em todas as unidades, mas contudo nunca chegou a avançar a instalação dos ventilo-convetores assim como o segundo equipamento Chiller para assegurar o arrefecimento nas restantes zonas como estava previsto numa segunda fase do projeto.

A zona técnica de AVAC está instalada sob a cobertura e no Piso 0, na central térmica.

Na cobertura do edifício estão instalados os seguintes sistemas:

- Um Chiller do tipo ar-água. É um equipamento de marca Lennox, modelo MCH 242 PK SI, com uma potência de arrefecimento de 222,7 kW. O sistema é equipado por 2 tubos para circulação da água refrigerada. A circulação hidráulica é assegurada por duas bombas circuladores, de marca Grundfos com uma potência de 4 kW cada;
- Duas unidades centrais de tratamento de ar novo do tipo água-ar. São ambas da mesma marca, Metaleceira, modelo ML 18.2, com uma potência arrefecimento total de 84 kW e potência aquecimento total de 118 kW, associados com recuperador de calor.

No Piso 0, central térmica estão instalados os seguintes sistemas:

- Uma Caldeira, de marca Roca, modelo CPA 250 A, com uma potência de aquecimento de 290,7 kW. A circulação hidráulica é assegurada por bombas circuladores de marca Grundfos, com variação de potência consoante a velocidade de funcionamento;
- Permutador de calor, marca Arsopi, modelo SHL 10 MJ, com uma potência de 261 kW;
- Depósito de água refrigerada de 3500 l;
- Depósito de água quente de 272 l.

3.3.9 *Ventilações centralizadas*

A renovação do ar dos espaços com ocupação permanente é realizada mediante sistemas mecânicos centralizados que asseguram a insuflação de ar pré-tratado (filtrado e aquecido/arrefecido consoante as condições exteriores) e também transferências para as circulações comuns ou extração de ar viciado em função da ocupação e integrando a nível das unidades de tratamento de ar novo uma recuperação de calor ar extraído/ar novo. Esta estratégia assegura:

- Os caudais de renovação requeridos;
- As necessidades de aquecimento ambiente dos espaços associados à fachada poente;
- A limitação das potências de aquecimento em jogo;
- A ventilação em período quente, em condições que não contribuindo por si para o aumento das cargas térmicas em jogo potenciam a dissipação das restantes;
- A redução da carga térmica do edifício em período quente mediante o recurso à ventilação noturna em condições de “free-cooling” para seu arrefecimento.

O pré-tratamento do ar exterior de renovação (filtragem, aquecimento/arrefecimento) é assegurado a nível das Unidades de Tratamento de Ar Novo (UTAN) localizadas a nível da cobertura, associadas aos correspondentes ventiladores de extração, e integrando um recuperador de calor ar extraído/ ar novo equipado com *by-pass*, permitindo assim em período frio uma redução das necessidades de aquecimento do ar novo e em período quente evitar as situações em que o ar rejeitado a temperatura superior à do admitido passe através da zona de permuta.

A partir das referidas UTAN, que servem cada uma metade do bloco que constitui o edifício, o ar novo pré-tratado é insuflado em cada lado por uma prumada que deriva em cada piso para em

seguida se bifurcar, criando os ramais para a fachada nascente e para a fachada poente, sendo o retorno do ar de extração dos locais da fachada nascente efetuado por uma outra prumada paralela, enquanto que, o retorno do ar transferido dos locais da fachada poente para circulação central é efetuado a nível da galeria que a encima em grande parte da sua extensão longitudinal.

Para além do sistema de distribuição de ar associado ao sistema de climatização, existem ainda os ventiladores de extração de ar, embora específicas também centralizadas, nomeadamente das instalações sanitárias cuja prumada de extração se desenvolve paralelamente às restantes prumadas até aos respetivos ventiladores instalados na cobertura.

3.3.10 *Ventilações específicas*

O DEE é dotado de ventiladores específicos que garantem:

- Desenfumagem da circulação central comum, assegurada por dois ventiladores situados ao nível da respetiva galeria e que são inseridos em linha com a conduta de retorno normal, isolados automaticamente, por fecho de registos monitorizados, os ventiladores de extração das UTAN;
- Desenfumagem mecânica mediante ventilação de pressurização a nível das caixas de escadas enclausuradas, no seu grau superior, sendo assegurado pelos ventiladores de insuflação das UTA mediante fecho/abertura de registos monitorizados;
- Ventilação do grupo gerador de emergência que associada ao seu funcionamento, promove a extração do ar de arrefecimento rejeitado pelo respetivo radiador.

3.3.11 *Equipamentos*

O DEE contém uma vasta lista de equipamentos, distribuídos pelos diversos espaços do edifício, a qual foi objeto a um levantamento o mais completo possível. O controlo dos diversos equipamentos inseridos nos sistemas térmicos e de tratamento ambiental é assegurado normalmente mediante dispositivos automáticos que asseguram a sua regulação funcional de acordo com os parâmetros estabelecidos ou programados, consoante os casos. Destacam-se resumidamente os tipos de equipamentos previstos para as diversas áreas:

- Nos gabinetes de serviços foi instalado um computador por posto de trabalho;

- Na secretária e no gabinete do presidente do DEE foi instalada pelo menos uma fotocopiadora;
- Nas salas de aulas foi instalado um videoprojetor;
- Nos laboratórios de Desenho Assistido por Computador, Laboratório de Automação e Sala de Aula foram instalados pelo menos um computador por cada dois alunos;
- Foi instalado uma televisão plasma no corredor do Piso 1, logo à entrada principal do edifício;
- Um elevador.

3.3.12 *Análise das faturas energéticas*

Para um enquadramento inicial dos consumos energéticos do edifício em estudo foi feito um levantamento das faturas de gás e de eletricidade, de anos anteriores. A informação de faturação que nos foi disponibilizada diz respeito ao período de janeiro de 2008 a dezembro de 2012, ou seja, cinco anos completos. Para um edifício desta dimensão a fatura energética é muito elevada e tem um grande peso a nível económico. Há por isso uma enorme necessidade de controlar os gastos energéticos e aumentar o rendimento da energia utilizada. Esses consumos são os que se apresentam na *figura 3.21* e *figura 3.22*.

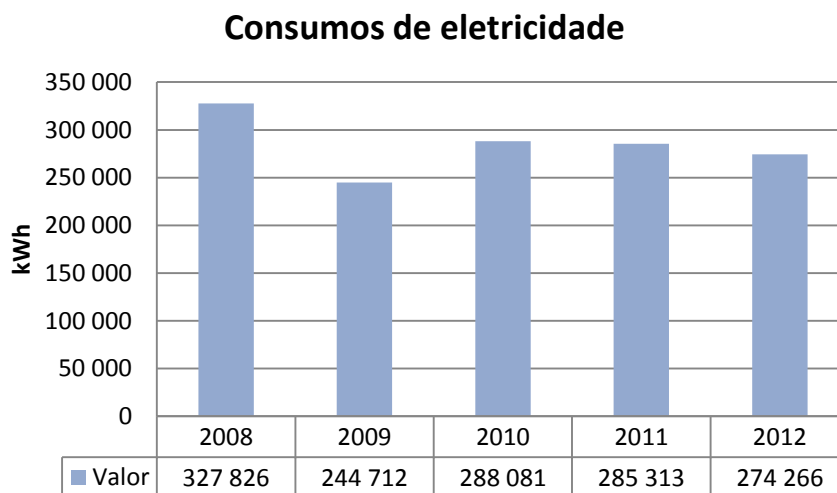


Figura 3.21 – Consumos elétricos

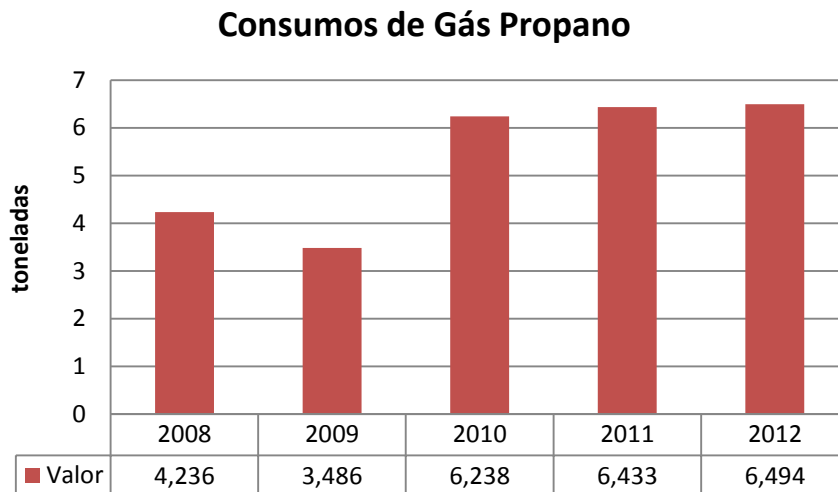


Figura 3.22 – Consumos do gás propano

Para o cálculo da média anual dos consumos energéticos que é utilizada para efeitos comparativos na simulação, optou-se por considerar os três últimos anos (2010, 2011 e 2012), segundo o RSECE, por serem provavelmente mais representativos da situação atual [10].

Tabela 3.11 – Média dos consumos anuais do Ed. X

Consumos de eletricidade (kWh)	Consumos de Gás Propano (ton/ano)
282553,3	6,38

Para efeito de cálculo do IEE do edifício X, os espaços incluídos na área útil de pavimento, A_p , correspondem, de acordo com a definição constante no RCCTE, tendo em consideração [10] [16]:

- *Toda a área útil deverá ser simulada, em condições nominais, como se estivesse climatizada, mesmo que tal não aconteça em condições reais;*
- *As áreas dos espaços complementares podem estar incluídas na área útil de pavimento (armazéns) ou não (armazéns).*

Os armazéns que tenham postos de trabalho ou aquecimento/arrefecimento, serão incluídos na área útil de pavimento.

Com base nos consumos energéticos e na área útil total do edifício é possível calcular o IEE da edificação e verificar se este encontra dentro dos parâmetros regulamentares. A razão entre a energia realmente consumida e a área de pavimento, permite definir o valor do $IEE_{real\ faturação}$. Este valor serve para a verificação simplificada do cumprimento do requisito energético em edifícios existentes e da necessidade ou não de um PRE, não sendo necessário o PRE se o valor determinado for inferior ao $IEE_{referência}$ para as edificações existentes [8]. Sendo o presente caso de estudo um edifício existente, efetua-se antes uma simulação dinâmica em condições reais de utilização e tem de ser verificar que os consumos de energia calculados apresentam um desvio inferior a 10% em relação aos consumos registados. O IEE calculado nestas condições é o $IEE_{real\ simulação}$.

Assim, tendo em conta os fatores de conversão das fontes de energia utilizadas:

- Eletricidade – 0,290 kgep/kWh
- Combustível – 0,086 kgep/kWh
- 1 kg de Gás Propano – 13,5 kWh

$$IEE_{real\ faturação} = \frac{Q_{Global}}{A_p} [kgep/m^2 \cdot ano] \quad (3.1)$$

$$IEE_{real\ faturação} = 21,71 kgep/m^2 \cdot ano$$

Para o cálculo do $IEE_{referência\ existente}$, para efeitos de comparação, será efetuado antes tendo em conta a atividade principal do espaço, como é indicado pela ADENE que no caso de existirem diversas atividades, como no presente caso. O valor do IEE calculado deverá ser comparado com o valor de referência $IEE_{referência\ existente}$, previsto pelo RSECE [8] [15].

$$IEE_{ref.\ exist.} = \sum \left(\frac{A_{atividade}}{A_{total}} \times IEE_{atividade} \right) [kgep/m^2 \cdot ano] \quad (3.2)$$

Tabela 3.12 – Área das tipologias

Tipo de atividade	Tipologia	IEE	Área útil [m ²]
Escolas	Estabelecimento de Ensino Superior	15	3.493,4
Serviços	Escritórios	40	622,9
Área útil de pavimento Total			4.116,3

$$IEE_{ref. \text{ exist.}} = 18,78 [kgep/m^2 . ano]$$

Como se verifica o valor do $IEE_{\text{real faturação}}$ é superior ao valor do $IEE_{\text{ref. exist.}}$, é necessário avançar para a determinação do $IEE_{\text{real, simulação}}$.

Capítulo 4

SIMULAÇÃO DINÂMICA

4.1. Introdução

4.2 Calibração do modelo de simulação

4.3 Simulação dos consumos nominais

4.1 Introdução

Este capítulo é dedicado à determinação do $IEE_{real\ simulação}$ e $IEE_{nominal}$, através da aplicação do *software DesignBuilder*, como método de análise do desempenho energético que permite avaliar, de forma quantitativa, os consumos potenciais de energia do edifício e dos seus sistemas para determinadas condições de utilização e funcionamento dos mesmos. Numa primeira fase é feito uma modelação com requisitos reais, caracterização do edifício, usando todos os elementos que respeitam às condições reais de funcionamento do edifício X (ocupação, equipamentos, iluminação, setpoints). Seguidamente é feita a simulação dos consumos nominais e por fim a determinação do $IEE_{nominal}$ que depois será analisado criteriosamente. Serão considerados dois cenários:

Cenário A – a simulação será efetuado com a climatização parcial do edifício, i.e., nas condições que encontra atualmente (Pisos 1, 2 e 3 somente na fachada nascente).

Cenário B – a simulação será efetuado com a climatização total do edifício, i.e., nas condições que foi projetado inicialmente (Pisos 1, 2 e 3 na fachada nascente e fachada poente).

Sendo assim, os fatores que mais influencia na Eficiência Energética do edifício são:

- Forma e localização do edifício;
- Orientação e captação de energia solar;
- Características de construção;

- Isolamento térmico;
- Pontes térmicas;
- Baixo desempenho térmico dos vãos envidraçados e portas;
- Ventilação:
 - Sistemas de ventilação não controlados.

Tendo em conta a localização do DEE, segundo o RCCTE pode-se aferir qual a zona climática é que esta está inserida, com base nos conceitos citados no anexo III deste regulamento e no quadro III.1 em que os dados climáticos utilizados para o cálculo foram os seguintes conforme referenciados na *tabela 4.1*.

Tabela 4.1 – Dados climáticos de referência para o concelho de Almada

Concelho de Almada	Dados climatéricos de referência	
<i>Zona climática de Inverno II</i>	Número de graus-dias (°C.dias)	1160
	Duração da estação de aquecimento (meses)	5,3
<i>Zona climática de Verão VI</i>	Temperatura exterior de projeto (°C)	31
	Amplitude térmica (°C)	10

4.2 *Calibração do modelo de simulação*

A calibração do modelo de simulação consiste no processo iterativo de ajuste com os parâmetros reais do edifício até que os resultados simulados sejam próximas dos consumos globais de energia elétrica. Devido a complexidade e dimensão do edifício o processo pode levar a uma série de reajustes de vários parâmetros do modelo. As grandezas estimadas na calibração do modelo serão os consumos globais da energia elétrica, em que, no caso de estudo, não existem medições diretas de parâmetros desagregados tais consumos, eficiência AVAC e temperaturas por zonas.

Como ficou patente no capítulo 3 o modelo será considerado bem calibrado se os resultados globais para simulação assinalarem consumos de energia num intervalo inferior a 10% dos consumos registados pela faturação.

4.2.1 Modelo exato cenário A

O primeiro passo consistiu em construir um modelo do edifício nas condições reais de funcionamento conhecidas com todos os parâmetros anteriormente anunciadas, tendo em conta a distribuição espacial dos diferentes espaços, no *software Design Builder*.

A simulação do zonamento térmico teve como base os seguintes critérios:

- Geometria;
- Orientação solar dos envidraçados e sombreamento;
- Orientação do edifício;
- Perfil de ocupação;
- Cargas internas (iluminação, equipamentos, metabolismo);
- Sistemas de climatização.

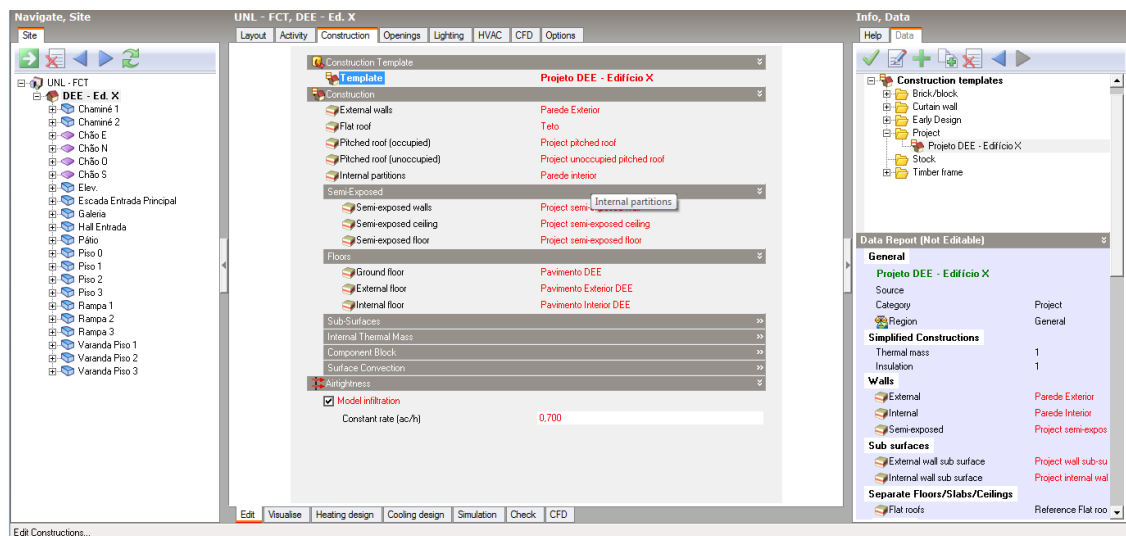


Figura 4.1 – Soluções construtivas DB - DEE

Na figura 4.2 apresenta-se o resultado da modelação 3D e a respetiva orientação efetuada pelo programa *Design Builder*.

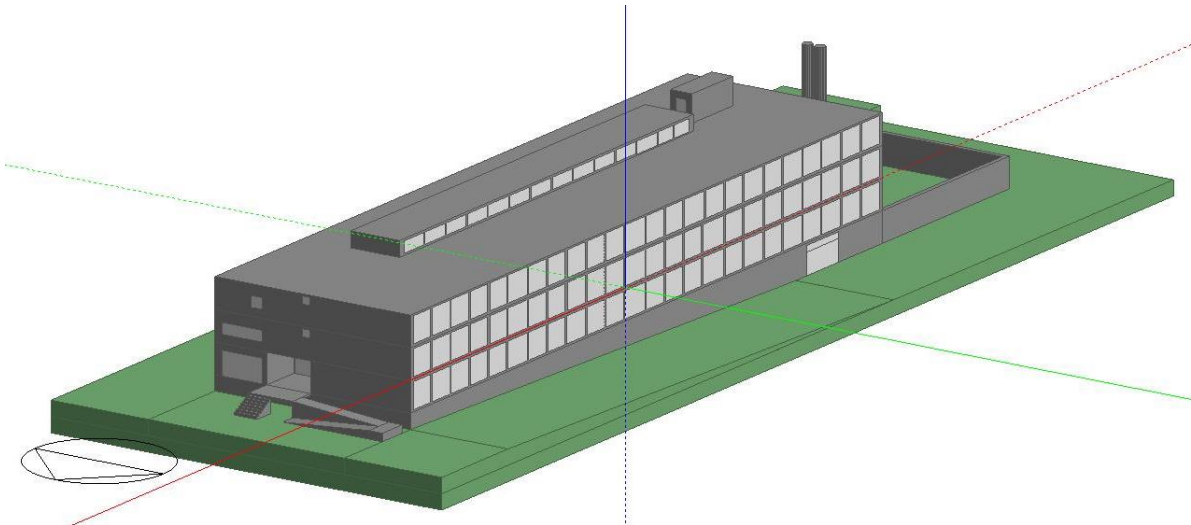


Figura 4.2 – Layout DB do DEE

Foram definidos os seguintes tipos de áreas para efeitos de simulação:

- Espaços climatizados: contabilizam os consumos de iluminação, equipamentos, condições de conforto interior e renovação de ar necessária;
 - Gabinetes e Secretárias
- Espaços sem climatização direta nem ocupação permanente: contabilizam os consumos de iluminação, equipamentos e ventiladores de extração;
 - Circulações, Reserva, Instalações Sanitárias
- Espaços com climatização direta sem ocupação permanente: contabilizam os consumos de iluminação, equipamentos, condições de conforto interior e ventiladores de extração;
 - Oficina de Manutenção
- Espaço não uteis: contabilizam os consumos de iluminação
 - Central Térmica, Deposito de Papel, Casa das Maquinas.

Na calibração do modelo de simulação optou-se por considerar um valor de $COP = 2,6$ para o sistema de arrefecimento, consultada do manual técnico. Relativamente ao rendimento para o sistema de aquecimento optou-se por utilizar na ordem dos 75% apesar de o rendimento calculado do manual

técnico ser de 0,83. Essa opção foi assumida porque uma vez que existe o consumo desagregado do gás, foi na ordem dos 75% que mais se aproximou da faturação na calibração. O COP de sistema pretende descrever a prestação global efetiva dos processos de aquecimento e arrefecimento.

4.2.2 *Setpoints*

Na **Tabela 4.2** observa-se os setpoints das temperaturas definidas no *software* para estação de aquecimento e arrefecimento durante uma semana para o conforto interior térmico dos ocupantes de referência, apresentadas no RCCTE [9].

Tabela 4.2 – Setpoints das temperaturas

	Horário	Setpoints
Segunda a Sexta-feira	0 às 7 horas	Não climatizado
	7 às 20 horas	T=21 °C Aquecimento T=25 °C Arrefecimento e HR=50%
	20 às 24 horas	Não climatizado
Fins de semana e Feriados	0 às 24 horas	Não climatizado

4.2.3 *Perfis de utilização*

O DEE tem um perfil de ocupação derivado da característica dos espaços definidos pela arquitetura em que por vezes não segue a delineação convencional, ou seja, de segunda a sexta-feira, normalmente no horário das 8 até às 20 horas. Tal deve-se, com alguma frequência, ao fato de haver alunos que permanecem no edifício até muito tarde, sobretudo nas épocas dos exames, assim como gabinetes com ocupação muito além do horário de expediente. Na definição do perfil de *input* para modelação real foi tido em conta estas particularidades e introduzido a densidade de utilização [ocupação/m²] por cada espaço.

4.2.4 *Infiltrações*

Qualquer zona no interior do edifício X está sujeita a infiltração de ar exterior, mesmo que a diferença de pressão seja mínima. Tal fato sucede devido à permeabilidade do ar nas fendas existentes, efeito de vento, efeito de chaminé e indispensavelmente devido a entrada e saídas de ocupantes do espaço. O valor da taxa de Renovação Por Hora (RPH) nunca deve ser inferior 0,6 h⁻¹, para garantia da qualidade de ar interior, em qualquer edifício com ventilação mecânica.

Segundo o RCCTE, o DEE pertence à classe de exposição ao vento das fachadas “Exp. 3” por estar nas seguintes condições:

- Altura acima do solo: de 10 m a 18 m;
- Região B: localidade situada numa faixa de 5 km de largura junto à costa;
- Rugosidade II: edifício situado na periferia de uma zona urbana.

Sendo assim, para os espaços sem introdução de ar novo, o valor utilizado na simulação foi de 0,95 RPH e 3,10 RPH para os espaços com introdução de ar novo. Devido a sobrepressão a que se encontra a maioria das zonas do edifício, faz com que diminui as infiltrações.

4.2.5 *Ganhos térmicos internos*

Os ganhos térmicos internos de referência considerados para o edifício em estudo são:

- Ocupação
 - Geral (sensível/latente) 75/75 W/pessoa
- Iluminação
 - Gabinetes, salas afins e de apoio 10 W/m²
 - Salas de reuniões 15 W/m²
 - Laboratórios 15 W/m²
 - Sala de aula/estudo 15 W/m²
- Equipamentos e diversos
 - Gabinetes e salas afins 15 W/m²
 - Salas de apoio 40 W/m²
 - Laboratórios 60 W/m²

4.2.6 *Climatização*

Como ficou patente no capítulo anterior, para garantir toda a produção de frio e calor recorreu-se aos equipamentos Chiller e Caldeira descritos em maior pormenor nos anexos. No *software Design Builder* para parametrização do sistema de AVAC recorreu-se ao template do tipo *Fan Coil Units* (ventilo-convetores). Os ventilo-convetores instalados no DEE para além de pré-tratamento de ar

novos, permitem o controlo manual pelos utilizadores do espaço da temperatura local regulada através das unidades evaporadoras. O esquema do sistema ventilo-convetor é apresentado na fig.4.3.

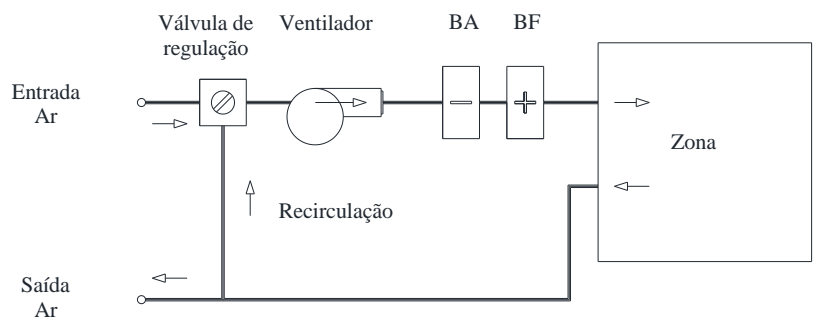


Figura 4.3 – Esquema ventilo-convetor - DB

4.2.7 Outputs da simulação

Particularmente nas simulações iniciais, os resultados apontavam para consumos globais altos, quando comparados com o consumo real da faturação total. Entretanto, foram efetuados ajustes nos vários *INPUTS* para o edifício em geral, de modo a retratarem de uma forma mais leal a realidade. Os vários ajustes realizados foram suficientes para colocar os consumos globais da simulação a satisfazer o primeiro requisito.

Os valores finais do processo de calibração, obtidos para os consumos globais simulados para o edifício em estudo incluem-se na *Tabela 4.3*.

O consumo de 354.564,5 kWh traduz num $IEE_{real\ simulação} = 18,18\ kgep/m^2.ano$.

Tabela 4.3 – Consumos de faturação e simulação

Faturação	368.683,3 kWh
Simulação	354.564,5 kWh
Diferença percentual	4,0 %

Na fig. 4.4 verifica-se a média mensal do consumo energético da faturação dos últimos três anos versus consumo energético do modelo nas condições reais de simulação previstos.

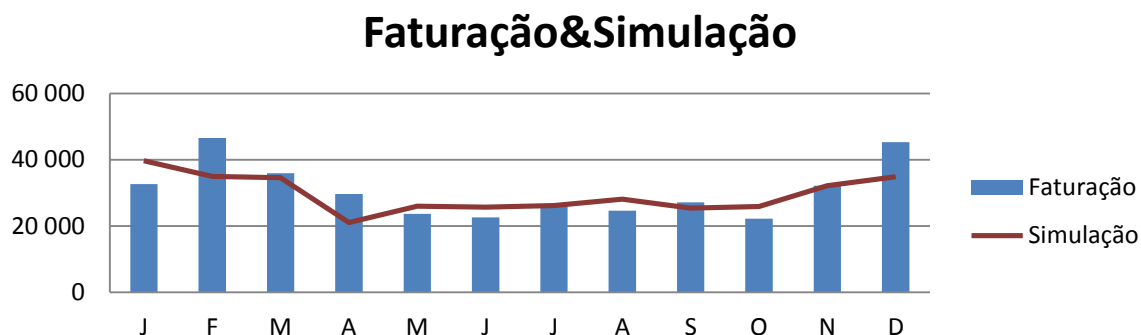


Figura 4.4 – Consumo energético médio mensal de 2010, 2011 e 2012 vs Consumo energético simulação

A **Tabela 4.4** apresenta os resultados, depois da calibração do modelo real, dos consumos elétricos desagregados por utilização na simulação dinâmica.

Tabela 4.4 – Consumos anuais obtidos na simulação em condições reais

	Consumos elétricos reais	
	(kWh/ano)	kgep/ano
Iluminação	138.420,1	40.141,8
Equipamento elétrico	139.813,8	40.546,0
Ventiladores	2.063,4	598,4
Bombas	3.574,3	1.036,5
Aquecimento (Gás)	61.293,5	17.775,1
Arrefecimento (Eletricidade)	9.399,4	2.725,8
Σ		
	354.564,5	102.823,7

A fig. 4.5 ilustra graficamente os consumos desagregados anuais obtidos na simulação em condições reais.

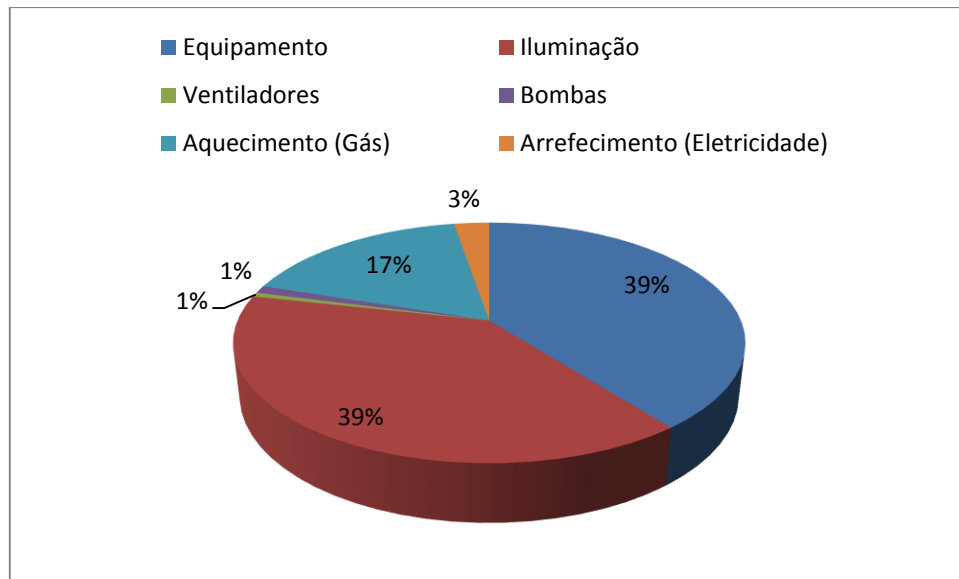


Figura 4.5 – Consumos reais desagregados anuais

4.3 Simulação dos consumos nominais

O capítulo III, artigo 6.º do RSECE estabelece que os requisitos energéticos são calculados na base de padrões nominais de utilização dos edifícios. Estes padrões nominais são definidos consoante as tipologias de edifício no Anexo XV do regulamento, diferenciando-se entre os perfis variáveis e os perfis constantes. Mantendo o edifício e os sistemas de climatização e controlo, caracterizado de acordo com a calibração, substitui-se as condições reais de funcionamento pelas condições nominais nomeadamente substituição dos perfis reais (ocupação, equipamento) pelos perfis e densidades de referência. Serão vários os aspetos a ter em conta na simulação dinâmica do edifício entre as quais se destacam:

- Caudais de ar: deve ser o caudal nominal, tendo em consideração a densidade nominal de ocupação dos espaços;
- Sistema de climatização: deve corresponder à dos equipamentos efetivamente instalados no edifício;
- Iluminação: a densidade deve ser função da potência de projeto instalada;

- Taxa de metabolismo: deve ser selecionada de acordo com a tipologia da fração, com base em normas de referências internacionais.

4.3.1 *Condições nominais*

As condições nominais utilizadas para a simulação nominal, patentes no RSECE, adequadas ao caso de estudo, concretamente os perfis variáveis, são as seguintes:

- Estabelecimento de ensino superior:
 - Densidade de ocupação é de $10 \text{ m}^2/\text{ocupante}$;
 - Densidade de equipamento é de 10 W/m^2 ;
 - Horário AVAC.
- Escritórios:
 - Densidade de ocupação é de $15 \text{ m}^2/\text{ocupante}$;
 - Densidade de equipamento é de 15 W/m^2 ;
 - Horário AVAC.

Os perfis para o estabelecimento de ensino superior aplicam-se durante os períodos de 2 de janeiro a 31 de julho e de 15 de setembro a 20 de dezembro. Considerou-se os laboratórios e salas de aulas encerrados nos períodos de 1 de agosto a 14 de setembro e de 21 de dezembro a 1 de janeiro. Em relação à iluminação e ventilação de ar novo foram utilizadas os valores de projeto visto que o regulamento não estabelece valores nominais para estes parâmetros nesta tipologia.

4.3.2 Resultados

As simulações do edifício em condições nominais avistam-se os resultados na **Tabela 4.5**.

Tabela 4.5 – Consumos anuais obtidos na simulação em condições nominais

	Cenário A	Cenário B
	Consumos elétricos nominais (kWh/ano)	
Iluminação	141.609,7	141.609,7
Equipamento elétrico	120.115,1	120.115,1
Ventiladores	983,5	4.778,0
Bombas	2.174,3	2.174,3
Aquecimento (Gás)	74.644,2	153.642,2
Arrefecimento (Eletricidade)	6.693,5	22.565,4
	Σ	
	346.220,2	444.884,7

A fig. 4.6 ilustra graficamente os consumos desagregados anuais obtidos na simulação em condições nominais para o cenário A.

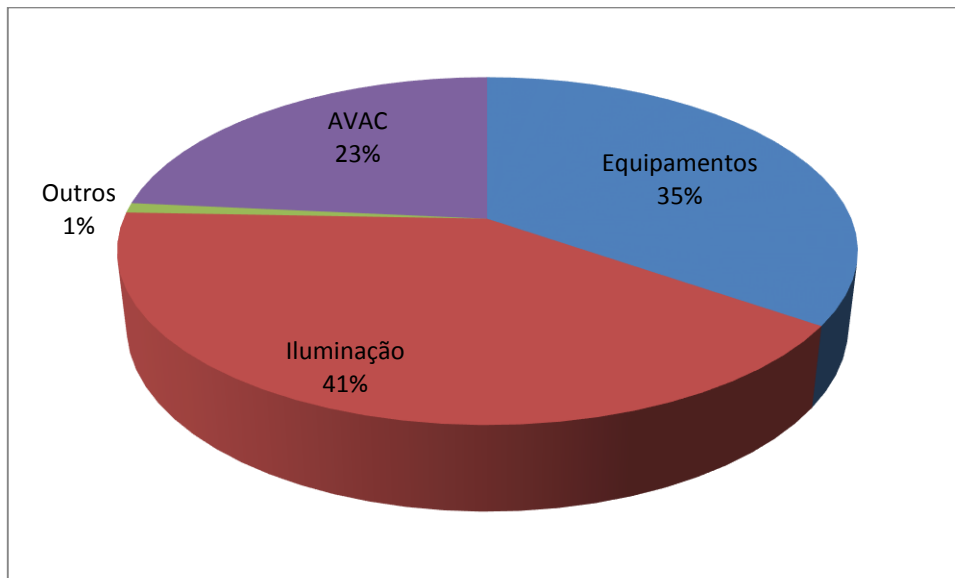


Figura 4.6 – Consumos nominais desagregados anuais – Cenário A

A fig. 4.7 ilustra graficamente os consumos desagregados anuais obtidos na simulação em condições nominais para o cenário B.

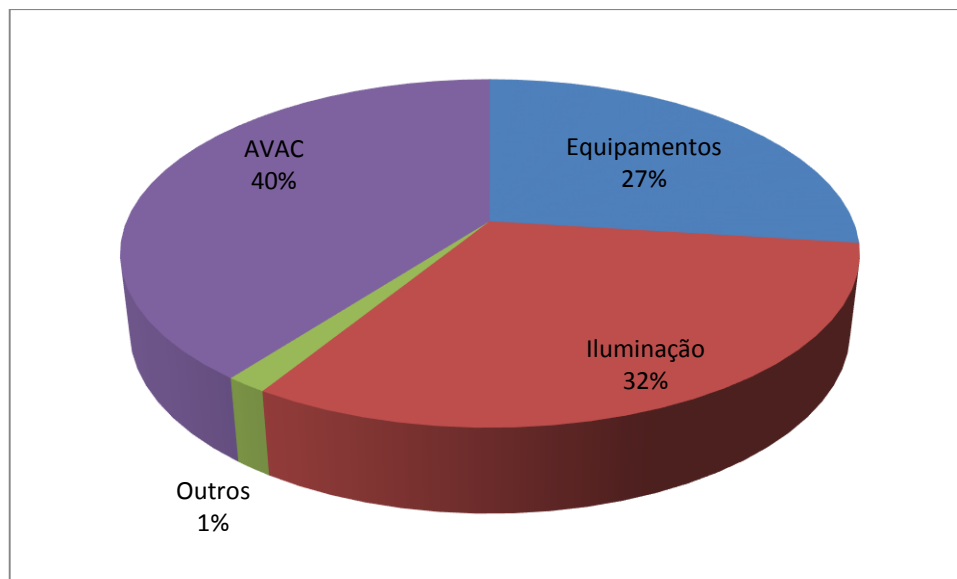


Figura 4.7 – Consumos nominais desagregados anuais – Cenário B

4.3.3 Indicador de Eficiência Energética

O IEE_{nominal} calculado através da simulação nas condições nominais, tendo em conta uma ponderação dos limites com as áreas uteis das diferentes tipologias, é apresentado na *Tabela 4.6*.

Tabela 4.6 – Energias finais

	Cenário A		Cenário B	
	kgep/ano	kgep/m ² . ano	kgep/ano	kgep/m ² . ano
IEE Inverno	6.998,1	1,25	13.763,0	2,47
IEE Verão	1.993,0	0,30	6.624,7	0,99
IEE Outras	76.185,4	15,61	77.285,8	15,83
IEE nominal:		17,16		19,28

O valor do $IEE_{nominal}$ é inferior ao valor do $IEE_{referência\ existente}$ calculado tendo em conta a variedade da tipologia do edifício em estudo. Através da análise de ambos os valores determinados para efeito comparativo, conclui-se que o consumo energético nominal do edifício nas condições do Cenário A se encontra abaixo do limite superior não sendo portanto necessário um PRE. Todavia esse requisito já não se verifica no Cenário B, sendo portanto necessário um PRE.

Capítulo 5

ANÁLISE CRÍTICA DE RESULTADOS

5.1. Introdução

5.2. Estação de aquecimento

5.3. Estação de arrefecimento

5.4. Simulação anual

5.5. Propostas de otimização energética

5.1 Introdução

Neste capítulo são analisados os *outputs* do *software* para as estações do aquecimento e arrefecimento, assim como os resultados da simulação anual. É também proposto um conjunto de medidas com a finalidade de reduzir os consumos e, portanto, os custos energéticos para o edifício X.

5.2 Estação de aquecimento

O *software* para a estação do aquecimento (Inverno) determina a potência mínima necessária do sistema de aquecimento para garantir o conforto térmico nas áreas climatizadas. Esta potência é estimada com base nas perdas por condução e convecção através das envolventes do edifício. O *software* DB considera a situação extrema de temperatura exterior, i.e. a mínima possível durante o ano para a região em estudo, para o cálculo da carga térmica de inverno.

A simulação de aquecimento com base nos cálculos do *software* tem as seguintes características:

- Temperatura exterior constante;
- Ganhos solares nulos;

- Ganhos internos nulos (iluminação, equipamentos, ocupação);
- Velocidade do vento e direção definida para valor do projeto;
- As zonas são aquecidas constantemente para atingir a temperatura de aquecimento através de um sistema de aquecimento por convecção simples;
- Consideração de condução e convecção de calor entre zonas de diferentes temperaturas.

Nas figuras 5.1 e 5.2 observam-se a temperatura e as perdas térmicas na edificação que há através das paredes, vidros, telhado e partições.

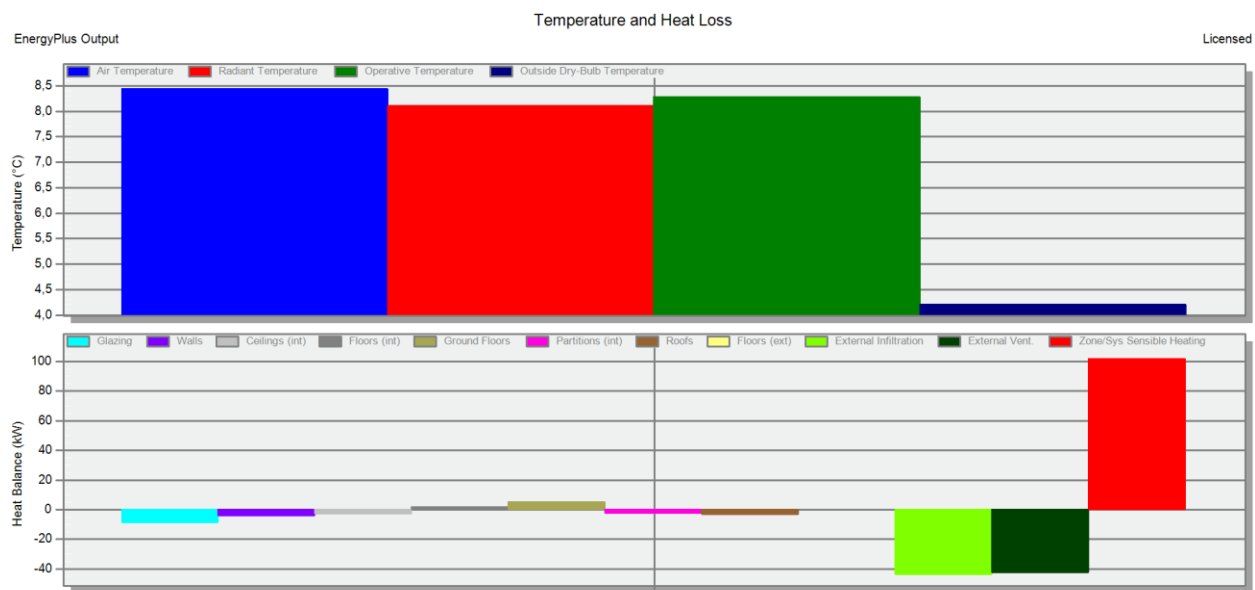


Figura 5.1 – Balanços energéticos das necessidades aquecimento – Cenário A



Figura 5.2 – Balanços energéticos das necessidades aquecimento – Cenário B

A **Tabela 5.1** ilustra com precisão as perdas térmicas que há num dia extremo de inverno com a temperatura exterior a 4,2 °C.

Tabela 5.1 – Balanços energéticos das necessidades aquecimento

	Cenário A	Cenário B
Air Temperature (°C)	8,44	17,96
Radiant Temperature (°C)	8,10	16,40
Operative Temperature (°C)	8,27	17,18
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	4,20	4,20
Glazing (kW)	- 8,71	- 24,42
Walls (kW)	- 4,27	- 7,52
Ceilings (kW)	- 2,94	8,71
Floors (int) (kW)	1,56	- 9,92
Ground Floors (kW)	4,88	0,98
Partitions (int) (kW)	- 2,73	- 6,97
Roofs (kW)	- 3,19	- 5,68
Floors (ext) (kW)	- 0,01	- 0,01
External Infiltration (kW)	- 43,94	- 80,96
External Ventilation (kW)	- 42,48	- 211,88
Zone Sensible Heating (kW)	101,66	337,35

O *software* estimou que, para aquecer o edifício nas zonas climatizadas, nas condições extremas de inverno será necessário uma potência mínima de 102 kW para o cenário A e 338 kW para o Cenário B.

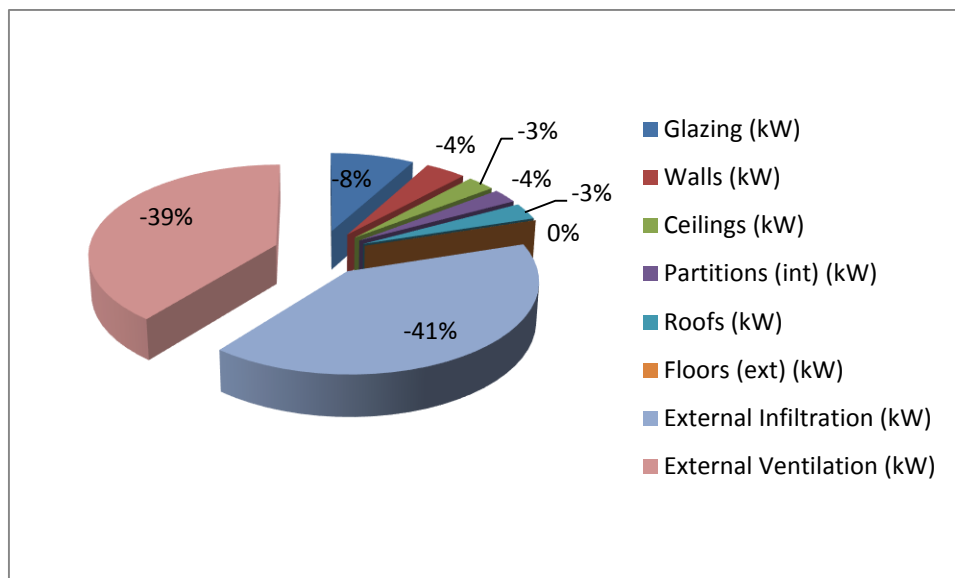


Figura 5.3 – Perdas térmicas aquecimento – Cenário A

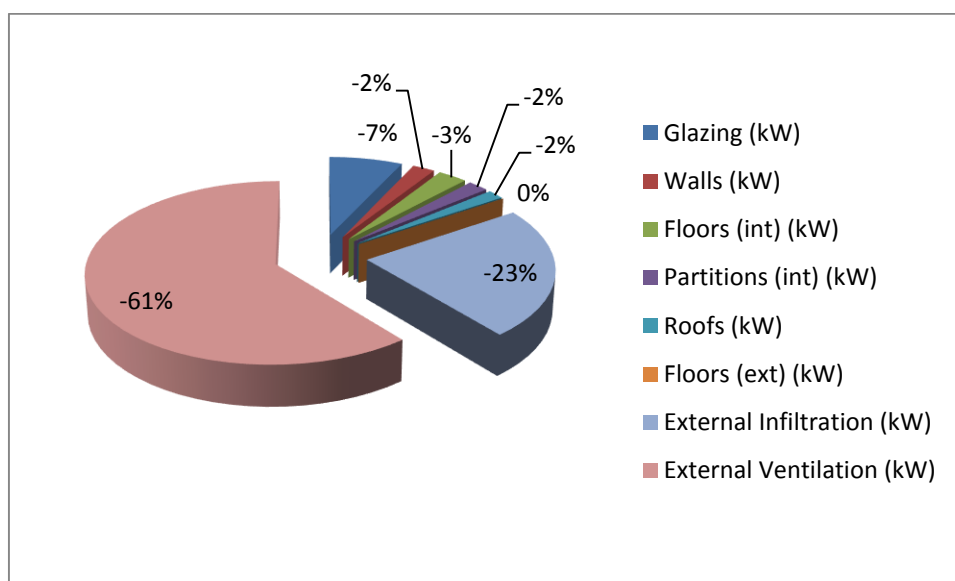


Figura 5.4 – Perdas térmicas aquecimento – Cenário B

Desagregando as perdas térmicas como se observa nas figuras 5.3 e 5.4, verifica-se que maior parte das perdas sucede devido à renovação do ar novo e as infiltrações exteriores. Os vãos envidraçados são responsáveis por aproximadamente 8% das perdas térmicas. Esse valor é muito atenuado, devido ao fato do edifício possuir a maior parte dos envidraçados duplos.

5.3 *Estação de arrefecimento*

Igualmente ao que sucede durante a estação de aquecimento, o *software* para a estação do arrefecimento (Verão) determina a potência mínima de refrigeração necessária do sistema de arrefecimento para garantir o conforto térmico nas áreas climatizadas. Esta potência é estimada com base nos efeitos de ventilação natural ou mecânica, se essas opções tiverem sido seleccionadas para as zonas e considera a situação extrema de temperatura exterior, i.e. a máxima possível durante o ano para a respetiva zona climática.

A simulação de arrefecimento com base nos cálculos do software tem as seguintes características:

- Condições dinâmicas de temperatura exterior (temperatura máxima que ocorre durante o dia e temperatura mínima durante a noite, com períodos de simulação de meia hora);
- Ganhos solares;
- Ganhos internos (iluminação, equipamentos, ocupação);
- Sem vento;
- Ventilação natural, ventilação mecânica e infiltrações;
- Consideração de condução e convecção de calor entre zonas de diferentes temperaturas.

Na figura 5.5 apresenta-se a temperatura e os ganhos internos na edificação que há através das iluminações, ocupações, equipamentos e computadores.

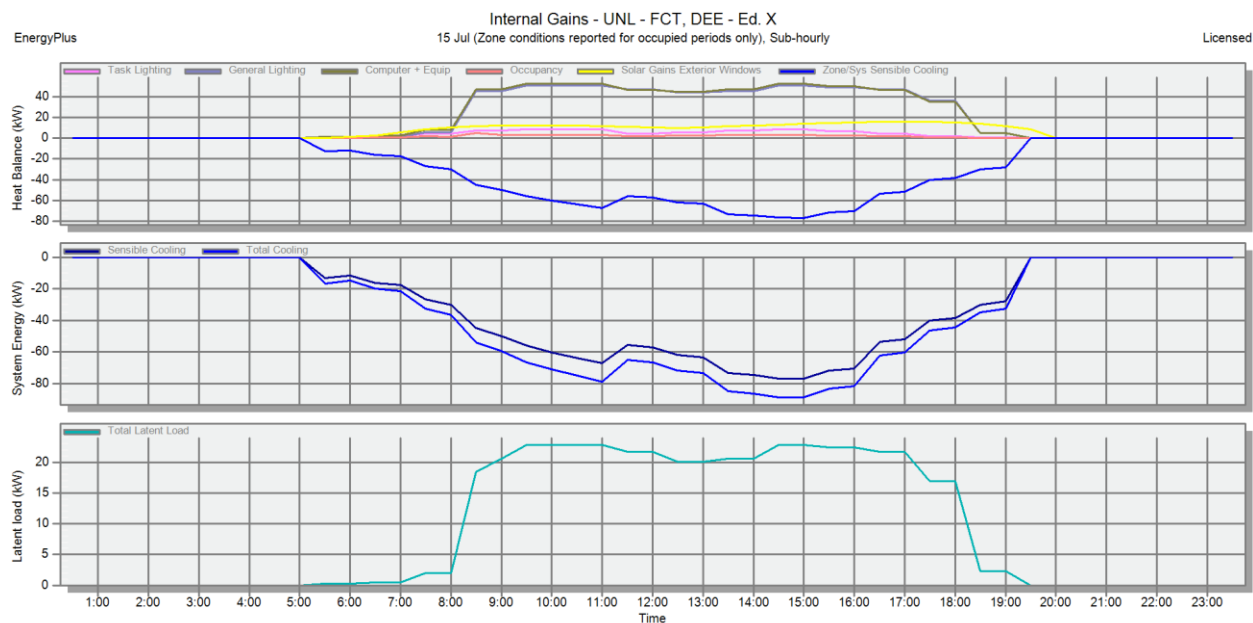


Figura 5.5 – Ganhos internos necessidades de arrefecimento – Cenário A

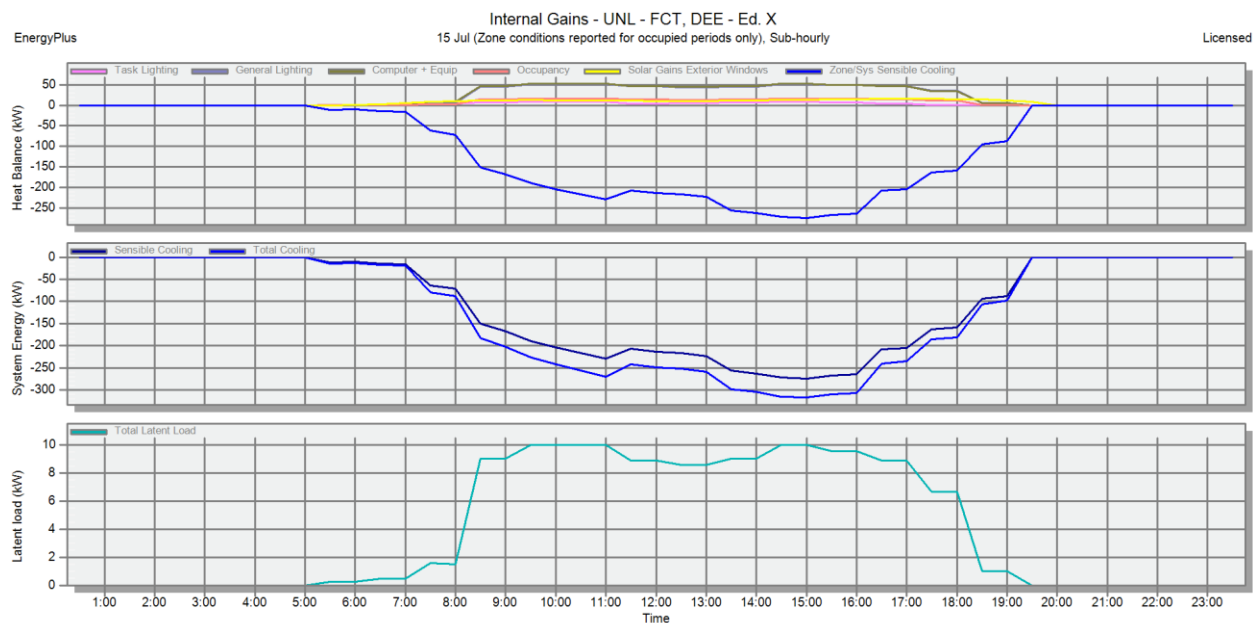


Figura 5.6 – Ganhos internos necessidades de arrefecimento – Cenário B

A *Tabela 5.2* mostra um dia extremo de verão com a temperatura exterior a 34 °C e apresenta a maior necessidade de refrigeração para o cenário A às 14 h e às 16 h para o Cenário B.

Tabela 5.2 – Balanços energéticos das necessidades de arrefecimento

Time		Task Lighting (kW)	General Lighting (kW)	Computer + Equip (kW)	Occupancy (kW)	Solar Gains Exterior Windows (kW)	Zone/Sys Sensible Cooling (kW)	Sensible Cooling (kW)	Total Cooling (kW)	Total Latent Load (kW)
2h	Cenário A	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Cenário B									
4h	Cenário A	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Cenário B									
6h	Cenário A	0,84	0,71	1,17	0,30	1,10	-11,77	-14,63	-14,63	0,22
	Cenário B						-10,22			
8h	Cenário A	4,19	5,73	7,89	1,64	10,18	-30,17	-36,47	-36,47	2,03
	Cenário B				2,16		-71,56			
10h	Cenário A	8,37	50,56	52,45	3,25	12,31	-60,19	-71,08	-71,08	22,85
	Cenário B				16,08		-204,18			
12h	Cenário A	4,19	47,00	46,60	1,75	10,30	-57,07	-66,42	-66,42	21,73
	Cenário B				14,58		-213,65			
14h	Cenário A	7,53	45,51	47,21	2,93	12,16	-74,60	-86,31	-86,31	20,56
	Cenário B				14,48		-262,84			
16h	Cenário A	6,70	49,14	50,11	2,65	15,30	-70,38	-81,58	-81,58	22,40
	Cenário B				15,48		-264,75			
18h	Cenário A	1,67	36,17	34,94	0,80	15,13	-38,37	-44,56	-44,56	16,94
	Cenário B				11,06		-159,11			
20h	Cenário A	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Cenário B									
22h	Cenário A	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Cenário B									

O *software* estimou que para arrefecer o edifício, nas zonas climatizadas, nas condições extremas de verão será necessário uma potência mínima de 87 kW para o Cenário A e uma potência mínima de 307 kW para o Cenário B.

Desagregando os ganhos térmicos como se observa nas figuras 5.7 e 5.8, verifica-se que a maior parte dos ganhos vem da iluminação, computadores e equipamentos.

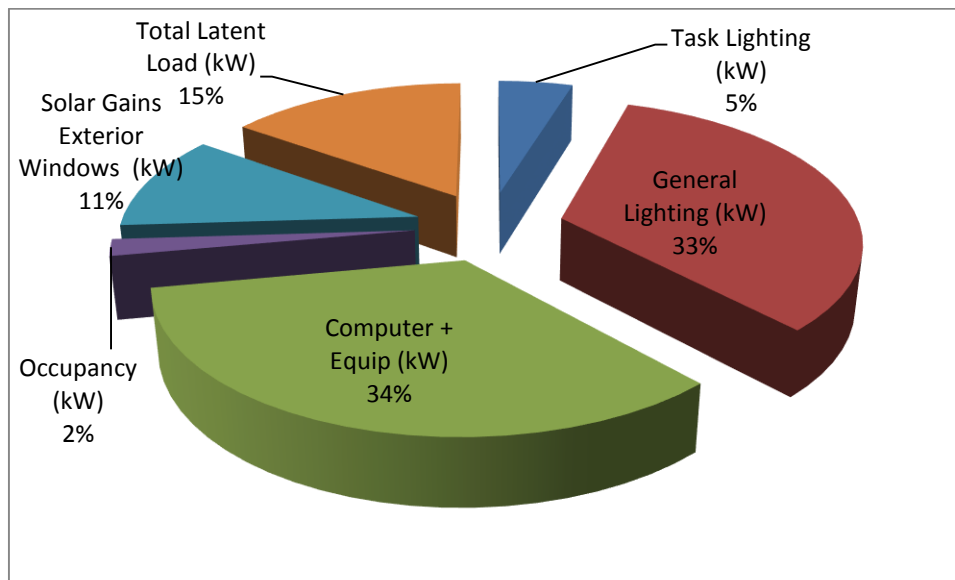


Figura 5.7 – Ganhos internos de arrefecimento – Cenário A

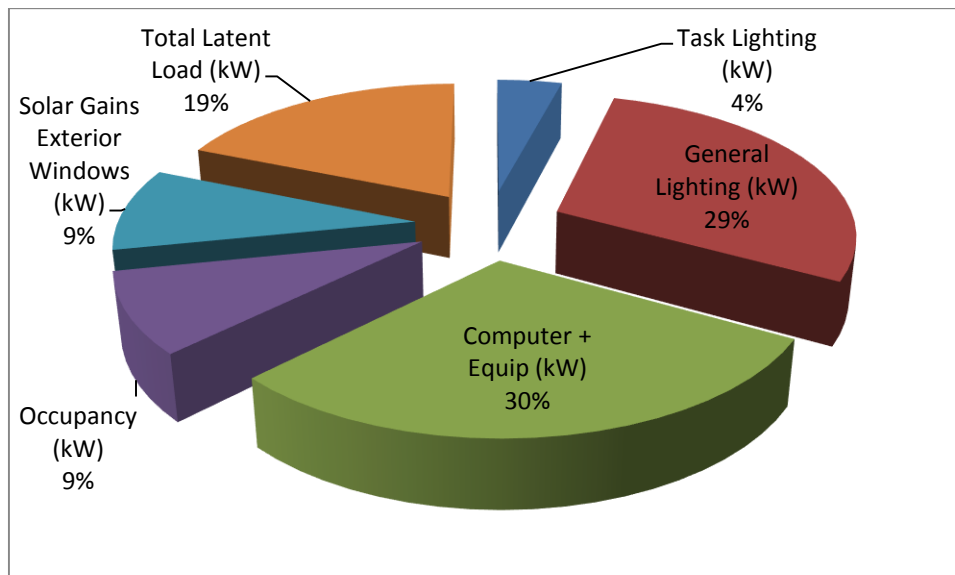


Figura 5.8 – Ganhos internos de arrefecimento – Cenário B

5.4 Simulação anual

A simulação anual consiste numa análise por um período de 365 dias, i.e., do dia 1 de janeiro até ao dia 31 de dezembro. Esta análise realça a maior importância do software permitindo usufruir de dados essenciais no estudo do edifício. Através da simulação anual detalhada multizona é possível ilustrar com minúcia o consumo específico e o comportamento térmico para cada zona/espço do edifício, tais como, o conforto, ganhos internos e produção CO₂.

Nas figuras 5.9 e 5.10 mostram-se os gráficos anuais dos consumos energéticos nominais e ganhos para a estação de aquecimento. É evidente, na comparação dos dois gráficos, o aumento significativo do consumo anual do gás, assim como as necessidades de aquecimento e de arrefecimento do edifício para o cenário B.

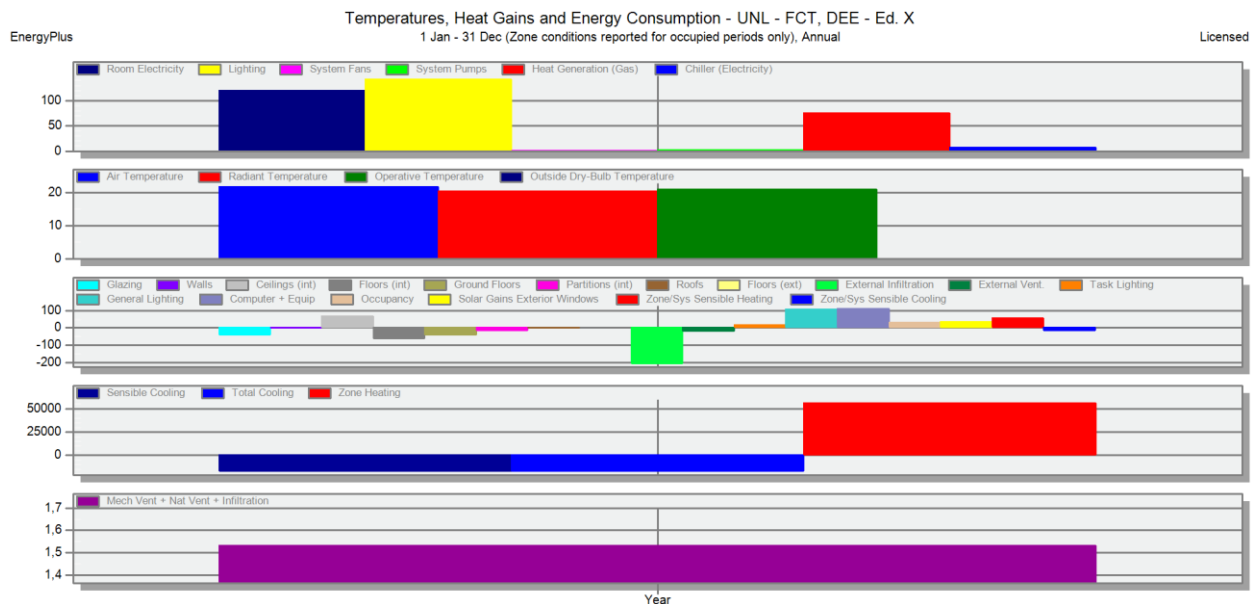


Figura 5.9 – Consumos anuais – Cenário A

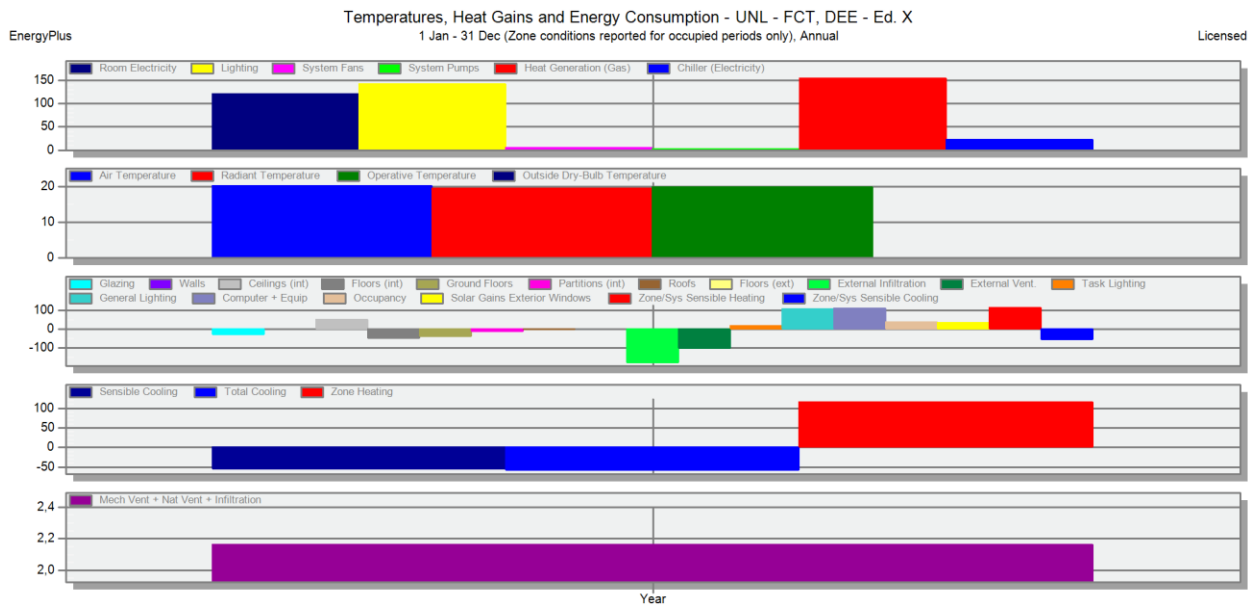


Figura 5.10 – Consumos anuais – Cenário B

Nas figuras 5.11 e 5.12 mostram-se os consumos mensais nominais do gás e da eletricidade para a edificação. Para o mês de agosto há uma clara diminuição no consumo elétrico devido a período de férias escolar.

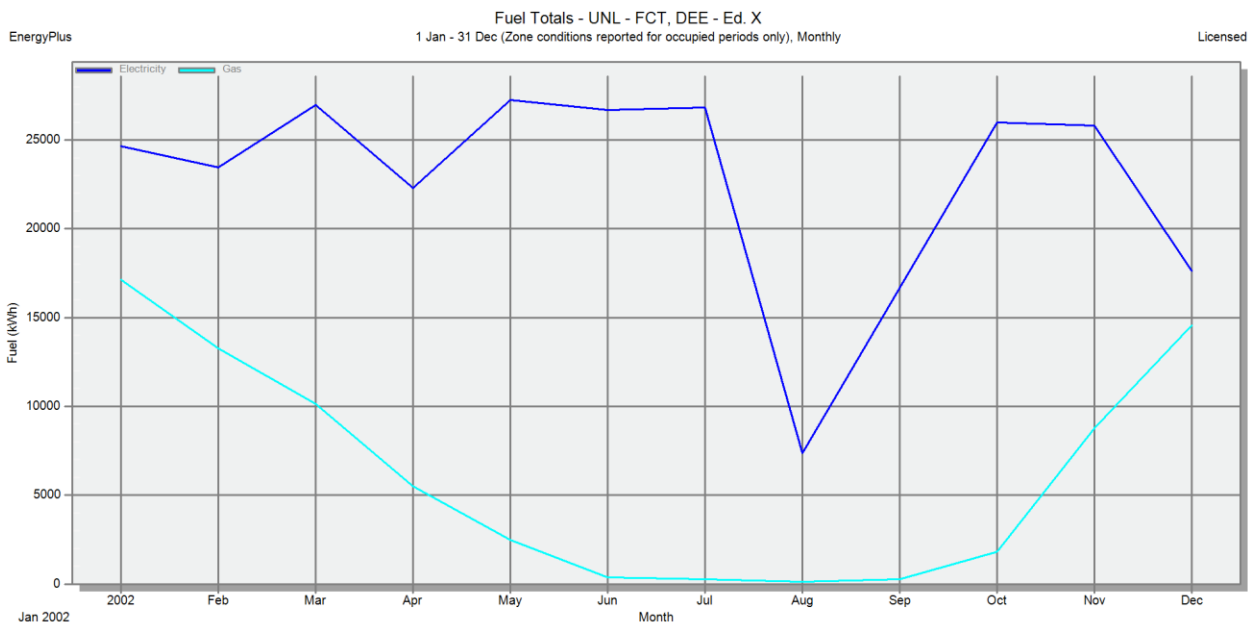


Figura 5.11 – Consumo mensal – Cenário A

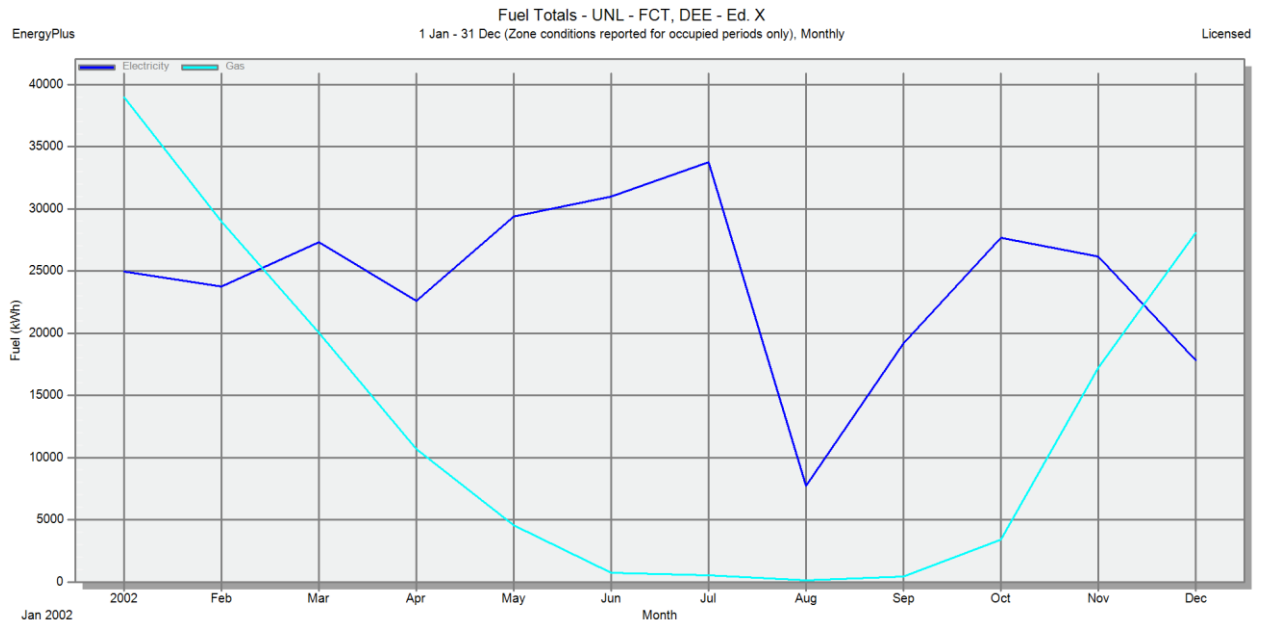


Figura 5.12 – Consumo mensal – Cenário B

Nas figuras 5.13 e 5.14 ilustram-se as variações dos consumos energéticos mensais nominais desagregados para o edifício X.

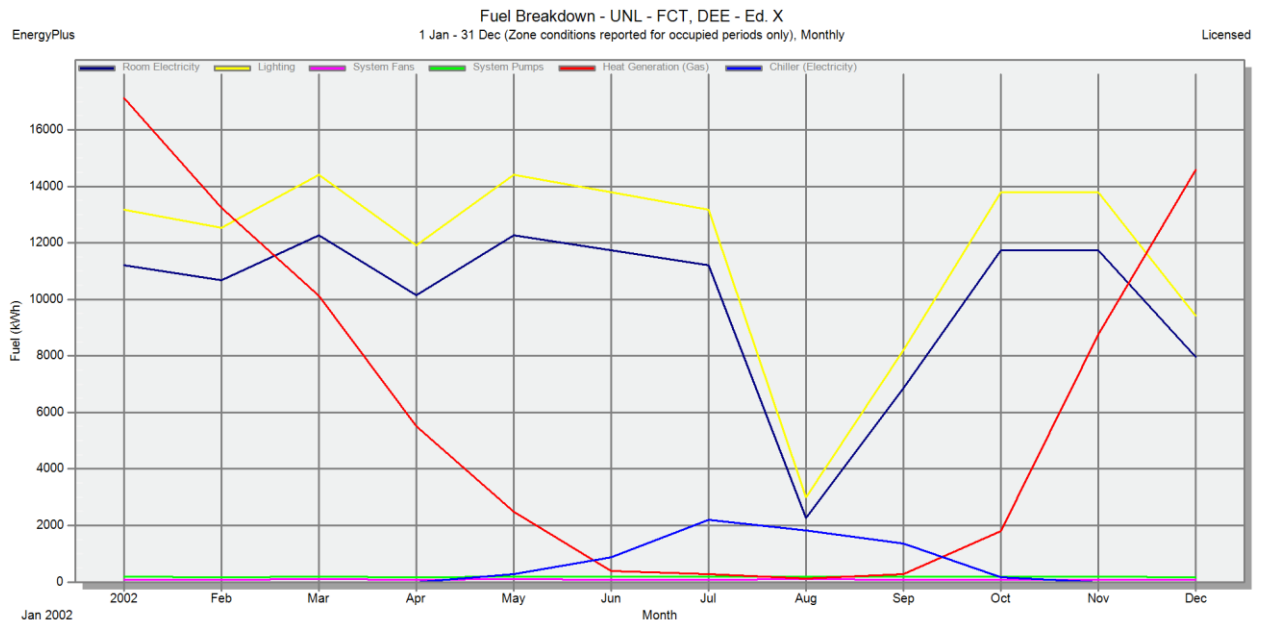


Figura 5.13 – Consumo mensal desagregado – Cenário A

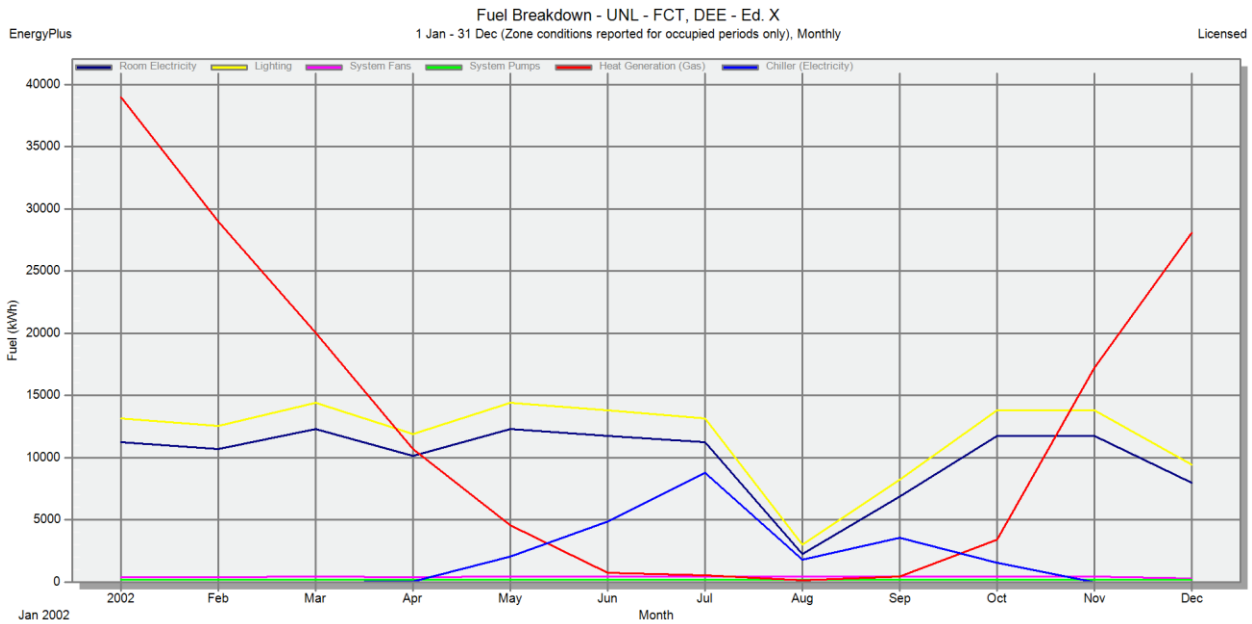


Figura 5.14 – Consumo mensal desagregado – Cenário B

Nas figuras 5.15 e 5.16 mostram-se as variações dos consumos energéticos nominais ao longo do dia para o edifício X.

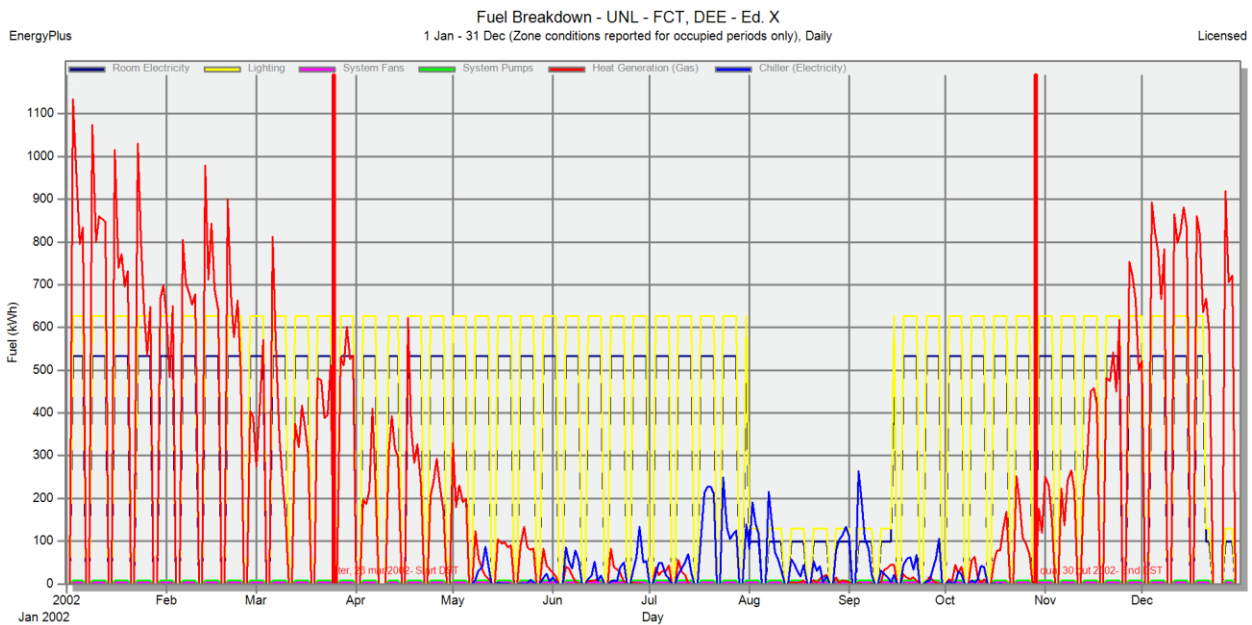


Figura 5.15 – Consumo diário – Cenário A

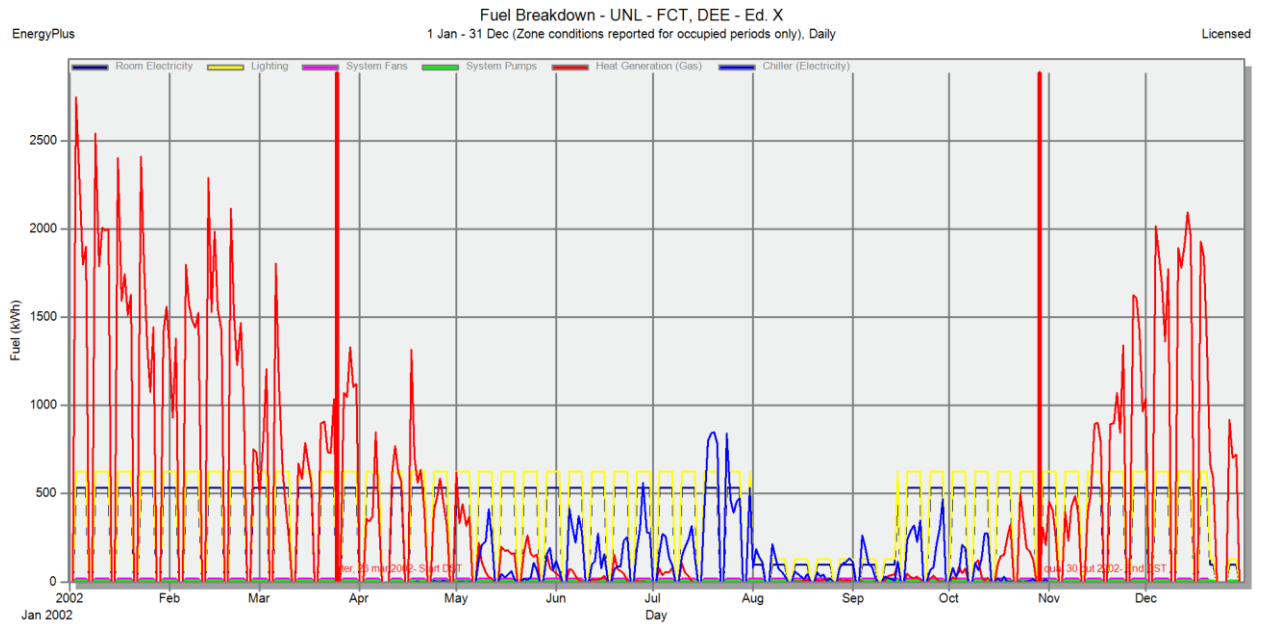


Figura 5.16 – Consumo diário – Cenário B

5.5 Propostas de otimização energética

São apresentadas nesta seção algumas propostas com o intuito de fazer cumprir um dos objetivos estabelecidos na realização do presente trabalho para o edifício X, i.e., encontrar a solução mais eficiente energeticamente, poupanças de energia e diminuição do consumo da fatura energética anual. Essas propostas estão organizadas da seguinte forma:

- Iluminação de baixo consumo;
- Substituição da caldeira;
- Utilização de energias renováveis;

5.5.1 Iluminação de baixo consumo (IBC)

A iluminação, apesar da densidade considerada plausível, é nitidamente uma das áreas em que existe maior potencial para intervenção, conforme se pode observar na fig. 4.6, perfazendo 41% dos consumos elétricos globais do edifício X. A característica do espaço e o tipo de alterações possíveis é o principal critério a ter em conta, dada a natureza representativa do edifício e dos seus espaços interiores.

São propostas as seguintes medidas, com vista a reduzir os consumos:

- Utilização de sensores de presença para as áreas menos utilizadas;
 - Piso 0
- Campanhas de sensibilização dos colaboradores para redução dos consumos elétricos;
 - Apagar todas as luzes dos escritórios durante o período de almoço
 - Educar para Utilização Racional de Energia (URE)
- Promover a iluminação natural;
- Usar iluminações adequadas às necessidades do local e tipologia de utilização.

Uma outra medida proposta é a utilização de iluminação LED (Díodo Emissor de Luz) com baixo consumo de energia e uma duração de vida entre os 35 mil e 50 mil horas para todos os gabinetes e laboratórios do Piso 1, 2 e 3. Com o objetivo de apurar a poupança que se poderia esperar com a substituição das lâmpadas LED para os locais sugeridos, foi feito um estudo com base no modelo de Lâmpadas LED Spot GU 10 Epistar Cob Branca Natural 7W 220V 500lux [17].

A substituição das lâmpadas tipo Spot, no teto, com uma potência de 26W instalada em todos os gabinetes e laboratórios do Piso 1, 2 e 3 para lâmpadas LED, de baixo consumo, com uma potência de 7W e boas práticas modernas de Eficiência Energética, traduzem numa poupança anual como se observa na **Tabela 5.3**.

Tabela 5.3 – Poupança Anual com a substituição da iluminação

	Potência (W)	Consumo Anual (kWh)	Poupança Anual
Cenário A e B	26	141.609,7	- 40%
	7	85.384,3	

Uma poupança de 40% no consumo da iluminação anual para o edifício X significa economizar anualmente 5.999,3€ e será necessário substituir 1353 lâmpadas.

5.5.2 Substituição da caldeira (SC)

A substituição da caldeira é claramente outra área onde existe potencial solução para poupança de consumo energético para o edifício X. O seu COP não é tão elevado como outros tipos de caldeiras, apesar de recentemente, dezembro de 2012, terem sido efetuadas intervenções técnicas, manutenção preventiva, e não foram detetadas quaisquer anomalias. Do teste efetuado ao rendimento do combustível na 1ª e 2ª chama obteve-se um valor de 95,0% e 93,9%. Tendo em conta este valor e a idade avançada da caldeira, estima-se que o seu rendimento esteja entre os 65% e os 75% devidos as perdas nas tubagens e desgastes dos órgãos internos dos equipamentos de produção (compressores, válvulas, etc.).

Na **Tabela 5.4** são apresentados os valores de poupanças para a substituição da caldeira. Para o cálculo da poupança anual foi utilizado um valor de rendimento da caldeira nova de 93,5% devido à maior influencia no rendimento global [18].

Tabela 5.4 – Poupança Anual com a substituição da caldeira

	Rendimento (%)	Consumo Anual (kWh)	Poupança Anual
Cenário B	75	153.642,2	- 20%
	93,5	123.242,4	

Com esta medida estima-se uma poupança no consumo anual do gás de 3.011,9 € para o Cenário B.

5.5.3 Utilização de energias renováveis (UER)

A cobertura do edifício X, com 0º de inclinação, dispõe de excelentes condições de insolação para instalação de painéis fotovoltaicos e uma área de aproximadamente 200 m² encimado pela galeria. Com base em modelos solares LG Electronics de origem Sul Coreana com uma potência pico de 230 W_p é analisado quanto se poderia obter de produção energética.

A tabela 5.5 mostra os dados técnicos do sistema de captação fotovoltaica escolhido com o objetivo a apurar a produção energética que se destaca pela sua notável alta potência nominal de saída.

Tabela 5.5 – Dados técnicos do painel fotovoltaico

Marca	LG
Modelo	LG 230 M1C
Tamanho (mm)	1649/993/42
Potência máxima (W_p)	230
Peso (kg)	19,5
Material	Silicone monocristalino

Após uma análise à geometria da cobertura, verificou-se que é possível instalar 120 módulos de captação fotovoltaica promovendo uma potência de 27,6 kW. Através da simulação no PVGIS, com perdas de 10,5% devido à baixa temperatura e irradiação, perdas de 2,5% devido a refletância angular, perdas de 14% devido ao inversor e cabos e perdas de 25% devido ao sistema combinado, estimou-se uma produção anual de 60.500 kWh com uma inclinação ótima de 36° do sistema de captação fotovoltaico [19].

A figura 5.17 ilustra a média da produção elétrica do sistema fotovoltaico escolhido e a figura 5.18 mostra a área onde é proposto a instalação dos sistemas de captação fotovoltaico.

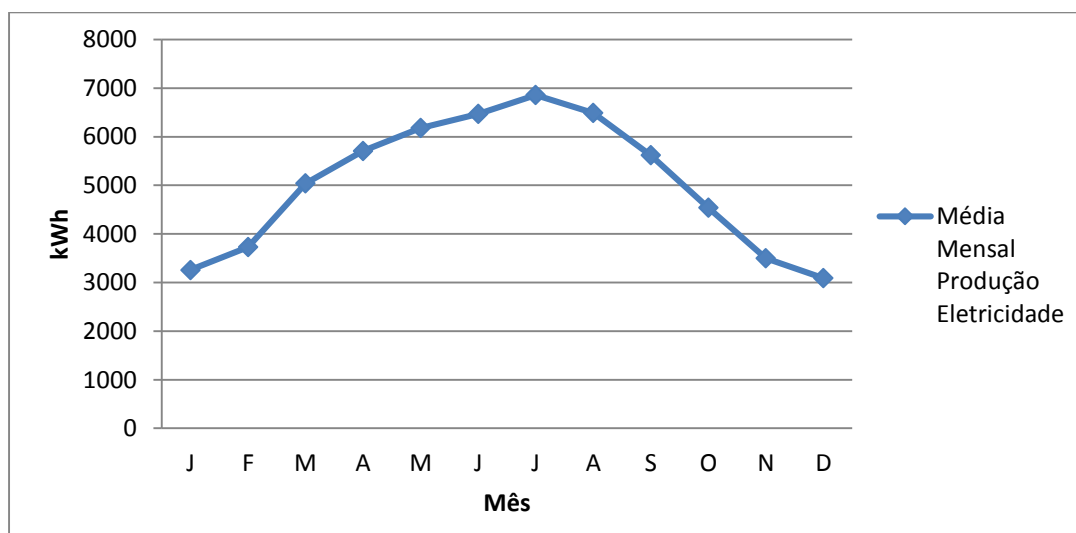


Figura 5.17 – Produção média mensal de eletricidade do sistema fotovoltaico

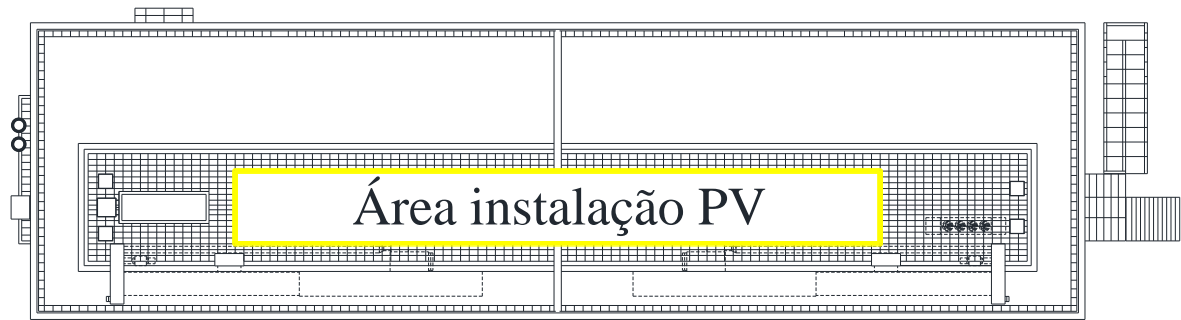


Figura 5.18 – Instalação fotovoltaico na cobertura

Com esta medida espera economizar-se anualmente 6.455,4€.

5.5.4 Combinações propostas de otimização energética

Com o intuito de fazer baixar ainda mais os consumos energéticos para o edifício X, são estudadas as várias combinações possíveis para alcançar esse objetivo. A **Tabela 5.6** mostra as poupanças alcançadas com as medidas propostas para o cenário B.

Tabela 5.6 – Poupanças dos Consumos elétricos propostos

		Cenário B			
		Nominais	IBC	SC	UER
Resultados (kWh/ano)	Iluminação	141.610	85.384	141.610	141.610
	Equipamentos elétricos	120.115	120.115	120.115	120.115
	Ventiladores	4.778	4.778	4.778	4.778
	Bombas	2.174	2.174	2.174	2.174
	Aquecimento (Gás)	153.642	181.926	123.242	153.642
	Arrefecimento (Eletricidade)	22.565	17.565	22.565	22.565
	Painéis Fotovoltaicos	0	0	0	-60.500
	Total	444.884	411.942	414.484	384.384
	Poupança	-	32.226	30.400	60.500

Na *Tabela 5.7* é apresentado a poupança que se espera obter com a combinação IBC+SC, IBC+UER, SC+UER e IBC+SC+UER nas condições nominais.

Tabela 5.7 – Poupanças dos Consumos elétricos para as várias combinações

		Cenário B				
		Nominais	IBC+SC	IBC+UER	SC+UER	IBC+SC+UER
Resultados (kWh/ano)	Iluminação	141.610	85.384	85.384	141.610	85.384
	Equipamentos elétricos	120.115	120.115	120.115	120.115	120.115
	Ventiladores	4.778	4.778	4.778	4.778	4.778
	Bombas	2.174	2.174	2.174	2.174	2.174
	Aquecimento (Gás)	153.642	145.930	181.926	123.242	145.930
	Arrefecimento (Eletricidade)	22.565	17.565	17.565	22.565	17.565
	Painéis Fotovoltaicos	0	0	-60.500	-60.500	-60.500
	Total	444.884	375.946	351.442	353.984	315.446
	Poupança	-	68.938	93.442	90.900	129.438

Após as medidas propostas verificou-se que o edifício nas condições do Cenário B apenas a medida SC não baixaria o consumo nominal suficiente para o limite máximo aceitável, i.e., o valor apurado do IEE_{nominal} para a SC foi de 18,82 o que é superior ao IEE_{ref. existente}.

5.5.5 Análise económica das medidas propostas

O atual regulamento do sistema energético estabelece, caso o consumo nominal específico avaliado ultrapasse o consumo máximo permitido, critérios de viabilidade económica das medidas de melhorias de Eficiência Energética em edifícios entre as quais se destacam implementações obrigatórias de todas as medidas de Eficiência Energética que tenham um Período de Retorno Simples (PRS) igual ou inferior a 8 anos.

Esta medida de viabilidade económica de Eficiência Energética é calculada através do parâmetro:

$$PRS = \frac{C_a}{P_l} \quad (5.1)$$

C_a - custo adicional de investimento, calculado pela diferença entre o custo inicial da solução base, isto é, sem a alternativa de maior eficiência energética, e o da solução mais eficiente, estimada aquando da construção do sistema, com base na melhor informação técnica e orçamental ao dispor do projetista.

P_l - poupança anual resultante da aplicação da alternativa mais eficiente, estimada com base em simulações anuais, detalhadas ou simplificadas do funcionamento do edifício e seus sistemas energéticos, conforme aplicável em função da tipologia e área útil do edifício, nos termos do presente regulamento, da situação base e da situação com a solução mais eficiente.

Os períodos de retorno simples apresentados foram calculados com base nos preços de 1.337,53€/ton para o gás propano, sendo 1kg gás propano = 13,5 kWh e 0,1067€/kWh para a eletricidade tendo em conta uma média anual para as horas de ponta e horas cheias.

Para o subcapítulo 5.5, *Propostas da otimização energética*, levou-se em conta os seguintes aspetos económicos:

- Lâmpadas LED Spot GU 10 Epistar Cob Branca Natural 7W 220V 500lux
Preço: 11,18€/Unid
- Caldeira CPA 465-BT, 2 escalões, 465 kW
Preço: 10.341,00€/Unid
- Painel solar fotovoltaico LG 230 M1C, 230 (+3%) W
Preço: 685,02€/Unid

A *Tabela 5.8* mostra os resultados PRS para as medidas propostas sem contabilizar os custos para a mão-de-obra.

Tabela 5.8 – Período de retorno das medidas propostas

	IBC	SC	UER	IBC+SC	IBC+UER	SC+UER	IBC+SC+UER
Custo de investimento (€)	15.127	10.341	82.202	25.468	97.329	92.543	107.670
Poupança anual (€)	3.731	3.012	6.455	7.297	10.186	9.467	13.752
Payback time (anos)	4,1	3,4	12,7	3,5	9,6	9,8	7,8

É apresentado na tabela 5.9 os custos de investimentos máximos aceitáveis contabilizados com a mão-de-obra para que a viabilidade económica associadas aos consumos energéticos seja plausível.

Tabela 5.9 – Custo máximo de investimento para uma viabilidade económica apreciável

	IBC	SC	IBC+SC	IBC+SC+UER
Custo de investimento máximo (€)	29.848	24.096	58.376	110.016

Capítulo 6

CONCLUSÕES FINAIS, LIMITAÇÕES E TRABALHOS FUTUROS

6.1 Introdução

6.2 Conclusões gerais

6.3 Limitações e trabalhos futuros

6.1 Introdução

Neste capítulo são apresentados as conclusões gerais deste trabalho que tem por base os estudos realizados para alcançar o objetivo principal. São ainda apresentadas propostas de trabalho de investigação futura na sequência do trabalho desenvolvido. Apesar de serem aqui apresentados várias soluções energéticas na sequência da investigação, é importante referir que os resultados simulados no estudo, podem e devem ser analisados sobre novos prismas, uma vez que a análise efetuada a estes não esgota as conclusões a retirar dos mesmos.

6.2 Conclusões gerais

A realização deste trabalho foi o mote para uma investigação acerca das melhores práticas da Eficiência Energética, assim como das melhores formas de se estudar os consumos de energia para o edifício X através da modulação gráfica. Foi possível demonstrar a importância que tem o *software Design Builder* na aplicação do conceito da racionalização da energia.

Avaliando o comportamento da tipologia estudada, em termos de soluções construtivas adotadas, pode-se concluir ser bastante assertiva o que faz reduzir consideravelmente o consumo final da energia elétrica. Embora não tenha sido possível, em qualquer das medidas propostas individualmente, através da simulação, obter a classificação energética A⁺, verificou-se significativas otimizações no desempenho energético.

O principal objetivo deste trabalho foi alcançado, i.e., encontrar a solução mais eficiente energeticamente para o edifício X. É uma solução bastante promissora, na medida em que os resultados obtidos significam uma redução dos consumos que pode chegar até 29% do consumo anual com as medidas propostas.

O trabalho desenvolvido nesta tese centrou-se essencialmente no estudo da poupança do consumo de energia para os dois cenários apresentados, sendo um, Cenário A, o atual e um outro, Cenário B, previsto para uma segunda fase do projeto do edifício em estudo. O Cenário A, incompleto no que diz respeito a climatização, Piso 1, 2 e 3, fachada poente, com poucas condições de conforto térmico para os alunos, conclui-se através da simulação real estar dentro dos parâmetros aceitáveis. O Cenário B, completo em toda a sua envolvente em relação ao projeto inicial para o edifício X apresenta um $IEE_{nominal}$ acima do limite máximo aceitável.

O consumo energético real faturação do edifício X determinou-se que o $IEE_{real\ faturação}$ é de 21,71 kgep/m².ano. A calibração do modelo computacional, validação do *software*, foi através de dados de consumo real com uma margem de erro global de 4%. A simulação nas condições reais permitiu concluir que a iluminação e os equipamentos elétricos, em igual patamar de percentagem (39%), perfazem a maior fatia dos consumos elétricos. Em seguida, a climatização, especificamente o sistema de aquecimento, consome 17% da energia anual. O $IEE_{real\ simulação}$ é de 18,18 kgep/m².ano o que indica uma classificação C no que respeita à classe energética.

No capítulo da simulação em condições nominais, foi apurado, para o Cenário A o $IEE_{nominal}$ de 17,16 kgep/m².ano, valor inferior ao $IEE_{referência\ existente}$ (18,78 kgep/m².ano). Para o Cenário B o $IEE_{nominal}$ foi de 19,28 kgep/m².ano, valor superior ao $IEE_{referência\ existente}$, sendo portanto, segundo o RSECE, um PRE.

As principais oportunidades de melhoria de desempenho energético surgem com as medidas propostas que permitem poupanças significativas no consumo anual, suficiente para o edifício estar nas condições aceitáveis. A medida da IBC permitirá uma poupança de 7,2% do consumo anual da energia e a simulação determinou que o IEE nas condições nominais seria de 16,14 kgep/m².ano, muito abaixo do limite máximo aceitável, e lhe atribuiria uma classificação B- no que respeita à classe energética. Esta medida é considerada viável economicamente se e só se o PRS for igual ou inferior a 8 anos o que significa um investimento máximo de 29.848€.

Relativamente à medida da SC, permitirá 6,8% da poupança anual do consumo da energia e o IEE apurado nas condições nominais é de 18,82 kgep/m².ano. Esta medida, apesar do aumento significativo no rendimento da caldeira, revelou-se insuficiente para cumprir o objetivo de alcançar o consumo inferior ao limite máximo tolerável. De igual modo, esta medida é considerada viável economicamente se tiver como teto máximo de investimento 24.096€.

Por último, através da medida de UER, permitirá uma diminuição da energia anual na ordem dos 13,6%, o suficiente para colocar o edifício com o IEE nas condições nominais de 15,69 kgep/m².ano o que indica uma classificação B- no que respeita à classe energética. Esta medida apesar de significar maior poupança no consumo de energia anual expressa um PRS no mínimo de 12,7 anos o que é pouco viável economicamente, mas acaba por ser uma medida a ter em conta em termos ambientais.

Verificou-se ainda, com a combinação das medidas propostas, através da IBC+SC um IEE_{nominal} de 15,19 kgep/m².ano e uma classificação energética de B-, através da IBC+UER um IEE_{nominal} de 13,73 kgep/m².ano e uma classificação energética de B, através da SC+UER um IEE_{nominal} de 13,88 kgep/m².ano e uma classificação energética de B, e por fim através da IBC+SC+UER um IEE_{nominal} de 11,6 kgep/m².ano o que lhe atribui uma classificação energética de A.

Uma das conclusões que se pode tirar deste trabalho relativamente ao sistema de climatização, é que estava previsto apenas numa segunda fase a vinda dum segundo sistema de arrefecimento, Chiller, ou seja, a caldeira inicialmente instalada seria suficiente para climatizar o edifício nas condições do Cenário B. Esta foi claramente mal dimensionada, visto que através da simulação nas condições nominais apurou-se ser necessário uma potência mínima de 338 kW para aquecer o edifício nas condições do Cenário B.

Segundo o RSECE, a potência a instalar é limitada até 140% do máximo estimado. Assim para o Cenário A, a potência máximo a instalar para os sistemas de climatização é de 143 kW para estação de aquecimento e 122 kW para estação de arrefecimento. Para o Cenário B é de 473 kW para estação de aquecimento e 430 kW para estação de arrefecimento.

Como conclusão deste estudo, a que mais se destaca é a necessidade de afirmar a importância de um bom conforto interior na atualidade para uma condição de bem-estar físico. Os edifícios de ensino

superior não são exceção, sendo que a maior parte dos seus ocupantes passam grande parte do seu tempo no interior do edifício.

6.3 *Limitações e trabalhos futuros*

A nível do *software Design Builder* verificou-se que o programa não contempla, para o sistema de AVAC, unidades terminais, unidades centralizadas de tratamento de ar que garantem ar pré tratado insuflado a uma determinada temperatura nas zonas. No entanto, o utilizador menos experiente pode usar bibliotecas com *templates* já disponibilizados julgando estar a representar de forma realista o edifício em estudo. A escassez das unidades terminais pode conduzir a um IEE pouco rigoroso, uma vez que não reflete a ventilação que esteja diretamente associada ao processo para garantir requisitos de ar novo (UTAN).

O DB é claramente um programa que dá ao utilizador a flexibilidade máxima, possuindo no entanto bibliotecas muito extensas, exigindo conhecimentos aprofundados, devendo ser encarado como uma interface com limitações significativas. É muito importante o utilizador fazer as suas escolhas de forma consciente, uma vez que o impacto de determinadas opções pode ser significativo.

Deixa-se aqui como sugestão deste trabalho, a instalação de contadores individuais para os vários consumos do edifício X. Desta forma, com maior precisão dos consumos, conduzirá a resultados da investigação com maior precisão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] – Fonseca, Susana – “Desenvolvimento sustentável e ambiente – A eficiência energética do ponto de vista dos cidadãos”, ISCTE, junho de 2008.
- [2] – EDP – “Guia prático da eficiência energética”, Energias de Portugal, S.A., junho de 2006.
- [3] – ADENE – “Guia da eficiência energética”, Agência para a energia, - 4ª edição, novembro de 2012.
- [4] – Diário da República – “PROTOCOLO DE QUIOTO À CONVENÇÃO QUADRO DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS” – I Série - A, março de 2002.
- [5] – Convenção sobre Mudança do Clima – ONU, 2013.
- [6] – Eficiência energética – Edifícios - Direção Geral da Energia e Geologia.
- [7] – Legislação – Agência para a Energia.
- [8] – Decreto-Lei n.º 78/2006, de 4 de abril.
- [9] – Decreto-Lei n.º 79/2006, de 4 de abril.
- [10] – Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de abril.
- [11] – Direção Geral de Energia – “Eficiência energética nos edifícios”, Ministério da Economia, fevereiro de 2002.
- [12] – Peixoto de Freitas, Vasco – “Exigências hidrotérmicas para as habitações do futuro”, Aveiro, dezembro de 2005.
- [13] – Decreto-Lei n.º 58/82 e pela portaria 359/82, de abril de 1982.
- [14] – U.S. GARD Analytics, Inc. and University of Illinois at Urbana-Champaign under contract to the National Renewable Energy Laboratory. 2002-2003 D.O.E.
- [15] – <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/> U.S. Department of Energy. Building Technologies Program, obtido em março de 2013.

- [16] – ADENE (2011). “Perguntas & Respostas sobre o RSECE – Energia”, Versão 2.0.
- [17] – http://www.virtualleds.com/index.php?route=product/product&filter:name=spot+GU+10+Epistar+Cob+Branca+Natural+7W+220V+500Lux&filter_cat, obtido em julho de 2013.
- [18] – http://www.baxi.pt/docs/po_tarifa/1ca129tp.pdf, obtido em julho de 2013.
- [19] – <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>, Photovoltaic Geographical Information System, obtido em Julho de 2013.

OUTRAS REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADENE. (2006). Consumo Doméstico.
- ADENE. (2011). Perguntas & Respostas sobre o RCCTE, v2.0.
- ADENE. (2009). Perguntas e Respostas sobre o SCE, v1.2. ADENE.
- ADENE. (2008). SGCIE – Enquadramento e Objectivos.
- Aguiar, R.;Carvalho, M.J. (2007). Manual de Instalação e Utilização do software SolTerm. Lisboa, Portugal: Instituto Nacional de Energia de Engenharia, Tecnologia e Inovação, I.P.
- ASHRAE. (2009). *ASHRAE Handbook - Fundamentals*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- Casals, X. G. (2005). Analysis of building energy regulation and certification in Europe: Their role, limitations and differences. *Energy and Buldings* , pp. 381-392.
- DGEG. (2012). Balanço Energético de 2012, Energia Final. DGEG.
- DGEG. (2009). Direcção-Geral de Energia e Geologia.
- Fernandes, Nuno A. C. 2011 – Análise Energética do Corpo Central do Edifício do DEMI-UNL através do software EnergyPlus.
- Ferreira, Maria, A. M. A. 2009 – A Eficiência Energética na Reabilitação de Edifícios.
- INE.(2013). Portal de Estatísticas Oficiais. Obtido em 20 de março de 2013, de Instituto Nacional de Estatística.

Marques, Filipe, M. M. 2011 – Estudo Energético de um Edifício à luz do RCCTE e do RSECE.

Ramos, José O. 2009 – Estudo sobre a Eficiência Energética de um Edifício à Luz do Novo RSECE.

Silva, Pedro, N. B. B. 2012 – Soluções de Racionalização Energética do Edifício do DEMI/FCT/UNL à Luz do RSECE.

U.S. Department of Energy. (2013). EnergyPlus: Engineering Reference.

U.S. Department of Energy. (2013). EnergyPlus: Input/Output Reference.

UE. (2002). Directiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro de 2002, relativa ao desempenho energético dos edifícios. Comissão Europeia.

<http://www.luxmagna.pt/catalog/painel-fotovoltaico-monocristalino-lg-lg-230-m1c-pr-400.html>,

obtido em Julho de 2013.

ANEXOS

Em complemento aos dados e resultados apresentados neste trabalho, apresentam-se com maior pormenor as características dos mesmos, referenciados ao longo do trabalho. Esta seção encontra-se organizada da seguinte forma:

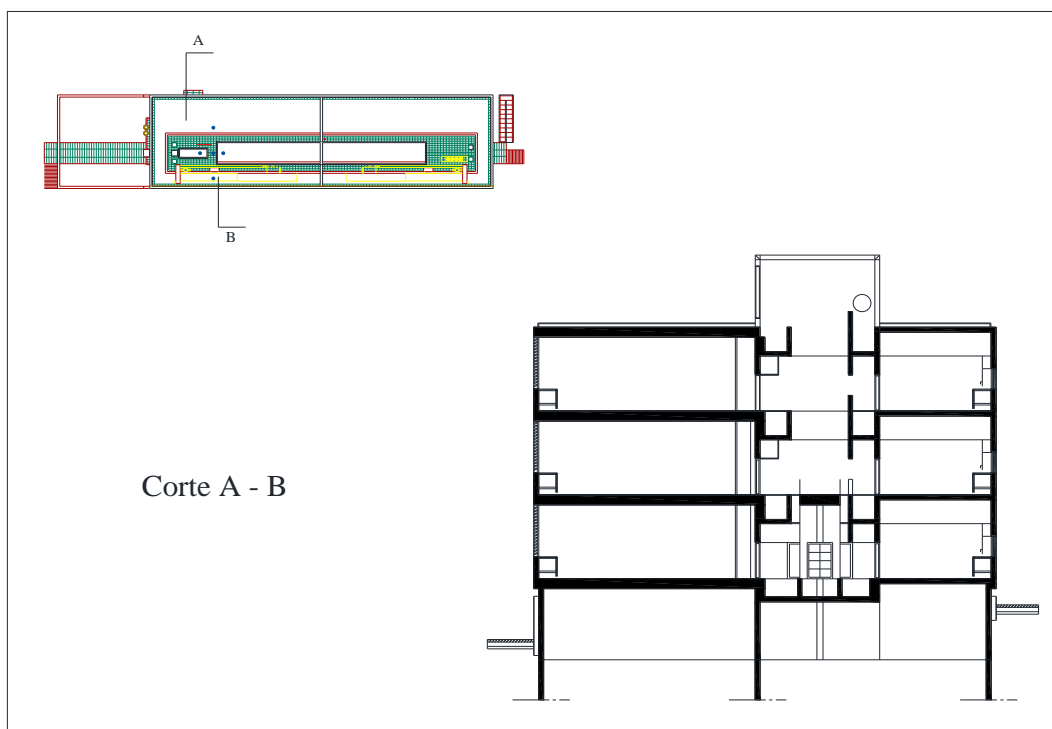
Anexo A – Características interiores em corte, principais vistas e pormenores

Anexo B – Características de ventilação e sistemas de climatização

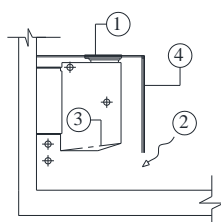
Anexo C – Características de ocupação e iluminação

Anexo D – Características térmicas das envolventes

Anexo A – Características interiores em corte, principais vistas e pormenores

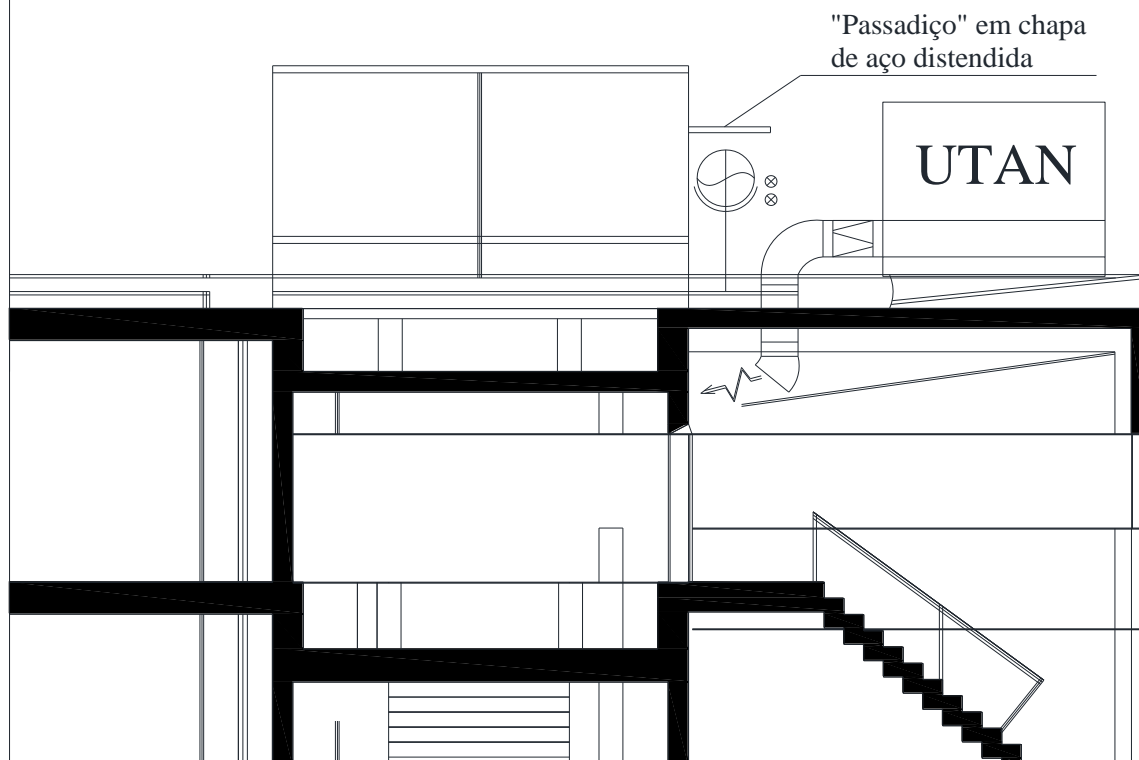


Corte tipo dos VC's a instalar no armário

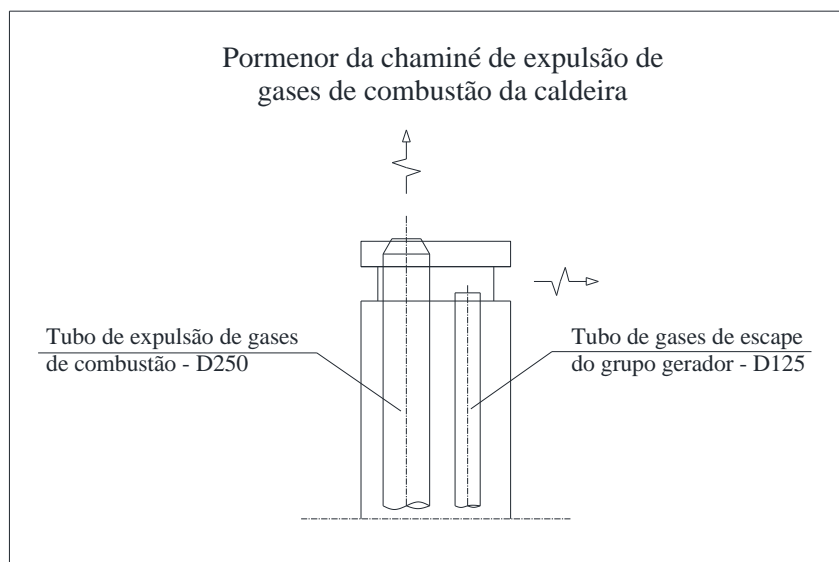


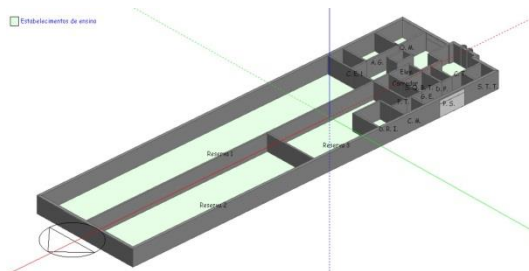
- ① — Grelha linear
- ② — Ranhura p/ retorno de ar
- ③ — Filtro
- ④ — Armário c/ portas de acesso

Pormenor de instalação da pressurização da caixa de escadas

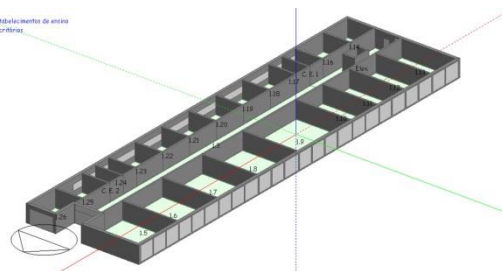


Pormenor da chaminé de expulsão de gases de combustão da caldeira

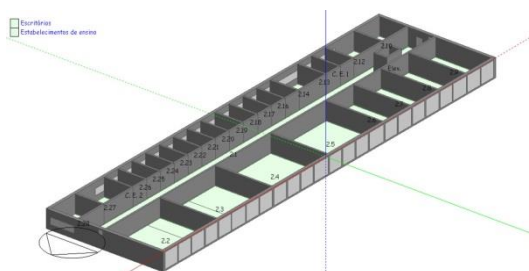




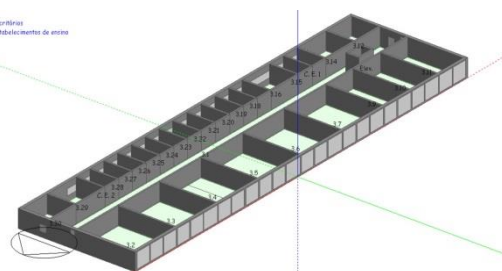
Piso 0 – Fig. DB



Piso 1 – Fig. DB



Piso 2 – Fig. DB



Piso 3 – Fig. DB

Anexo B – Características de ventilação e sistemas de climatização

Sistema central de arrefecimento			
Identificação	Chiller		
Sistema	2 Tubos		
Tipo	Ar/água		
Temperatura água (saída/retorno) (°C)	7/12		
Potência arrefecimento (kW)	222,7		
Combustível	Eletricidade		
Marca	Lennox		
Modelo	MCH 242 PK SI		
Zona associada	Todas		
Inclui AQS	Não		
Descrição	Inclui depósito de água refrigerada de 3500 l		
Bombas circuladoras	Bar 2.1	Bar 2.2	
Marca	Grundfos	Grundfos	
Modelo	LM 80-200/210	LM 80-200/210	
Potencia (kW)	4	4	
Circuito	Preparação-chiller	Preparação-chiller	
Caudal (l/h)	37	37	

Sistema central de aquecimento			
Identificação	Caldeira		
Sistema	2 Tubos		
Temperatura água (saída/retorno) (°C)	65/60		
Potência arrefecimento (kW)	290,7		
Combustível	Gás propano		
Marca	Roca		
Modelo	CPA 250 A		
Zona associada	Todas		
Inclui AQS	Não		
Descrição	Queimador da Roca, modelo Tecno-28G Rendimento 92,9% e inclui deposito de agua quente de 272 litros		
Bombas circuladoras	Baq 1.1 A/B	Baq 1.2 A	Baq 1.2 B
Marca	Grundfos	Grundfos	Grundfos
Modelo	UPSD 65-60/4F	UPSD 50-180 F280	UPSD 50-180 F280
Potência velocidade 1 (W)	380	760	760
Potência velocidade 2 (W)	440	850	850
Potência velocidade 3 (W)	660	1000	1000
Circuito	Preparação-caldeira	Preparação-permutador	Preparação-permutador
Caudal (l/h)	22,5	22,5	22,5

Bombas circuladoras			
Identificação	B CIR 3.1 A/B	B CIR 3.2 A/B	B CIR 3.3 A/B
Marca	Grundfos	Grundfos	Grundfos
Modelo	LMDE 100-200/210	LMDE 65-200/202	LMDE 100-200/210
Potência (kW)	4	1,1	4
Circuito	Distribuição-cobertura	Distribuição-nascente	Distribuição-poente
Caudal (m³/h)	2x14,5	2x6,5	2x25

Permutador de calor	
Potência de permuta (kW)	261
Combustível	Eletricidade
Marca	Arsopi
Modelo	SHL 10 – MJ
Fluido primário	Água
Temperatura fluido primário (°C)	80
Diferencial de temperatura (°C)	10
Caudal fluido primário (l/h)	22 500
Fluido secundário	Água
Temperatura fluido secundário (°C)	60
Diferencial de temperatura (°C)	5
Caudal fluido secundário (l/h)	45 000
Descrição	Com 21 placas e com juntas em NBR Pressão primário/secundário de PN 5

Unidade de tratamento de ar (UTA)		
Identificação	UTA COB. 1	UTA COB. 2
Marca	Metaleceira	Metaleceira
Modelo	ML 18.2	ML 18.2
Sistema climatização Associado	Chiller/Caldeira	Chiller/Caldeira
Potência arrefecimento (kW)	58,8	58,8
Potência arrefecimento Total (kW)	84	84
Potência aquecimento (kW)	33,6	33,8
Potência aquecimento Total (kW)	117,8	118,1
Caudal insuflado (m³/h)	17 360	16 970
Caudal recirculado (m³/h)	10 200	10 200
Caudal nominal ar novo (m³/h)	17 360	16 970
Caudal real ar novo (m³/h)	7 160	6 770
Ar novo (%)	41%	40%
Caudal extraído IS (m³/h)	1 700	1 800
Caudal água refrigerada (l/h)	14 500	14 500
Caudal água aquecida (l/h)	14 500	14 500
Função	Tratamento de AN/Extração geral	Tratamento de AN/Extração geral
Zona/Sala associada	Piso 1, 2 e 3	Piso 1, 2 e 3
Potência ventiladores (kW)	5,5/1,5	5,5/1,5
Descrição:	Com recuperadores de calor associados	

Ventiladores de Extração (VE)				
Identificação	VE 0.1	VE 0.2 A/B	VE 3	VE 4
Marca	France Air	France Air	France Air	France Air
Modelo	MLT 1.5	Axalu 2	MLDD 2.0	MLDD 2.0
Potencia (W)	0,3	0,9	0,25	0,25
Caudal nominal (m³/h)	750	10 500	1 700	1 800
Área tratada	Oficina manutenção e armazém	Sala gerador elétrico	Instalações sanitárias	Instalações sanitárias
Zona/Sala associada	Piso 0	Piso 0	Piso 1, 2 e 3	Piso 1, 2 e 3

Ventilo-Convectores (VC)					
Identificação	VC A	VC B	VC C	VC D	VC E
Marca	Lennox				
Modelo	Comfair HC				
Caudal ar referência (m³/h)	250	275	400	450	675
Caudal água quente (l/h)	150	200	250	300	500
Potência aquecimento (W)	870	1 600	200	2 400	4 000
Caudal água refrigerada (l/h)	200	275	425	524	725
Potência arrefecimento 25 °C (W)	1 160	1 600	2 390	3 030	4 200
Caudal água refrigerada (l/h)	225	350	475	600	875
Potência arrefecimento 26 °C (W)	1 300	1 890	2 465	3 490	5 090

UNIDADES DE TRATAMENTO DE AR POR ZONA								
UTA	Área Tratada	Qt.	Piso	V.C.	Q (m3/h)	Q (%)	PArr (kW)	PAq (kW)
UTAN COB.1	Gabinete	1	1	VC B	180	1,04	0,87	1,22
	Gabinete	1	1	VC B	240	1,38	1,16	1,63
	Gabinete	1	2	VC B	180	1,04	0,87	1,22
	Gabinetes	7	2	VC A	630	3,63	3,05	4,28
	Gabinete	1	3	VC B	180	1,04	0,87	1,22
	Gabinetes	7	3	VC A	630	3,63	3,05	4,28
UTAN COB.2	Sala de Reuniões	1	1	VC B	360	2,12	1,78	2,51
	Gabinete Académico e Seminários	1	1	VC A	240	1,41	1,19	1,67
	Secretaria/Atendimento	1	1	VC A	240	1,41	1,19	1,67
	Secretaria	1	1	VC C	90	0,53	0,45	0,63
	Gabinete Presidente de Departamento	1	1	VC E	360	2,12	1,78	2,51
	Gabinetes	7	2	VC A	630	3,71	3,12	4,38
	Gabinete	1	2	VC E	360	2,12	1,78	2,51
	Gabinetes	7	3	VC A	630	3,71	3,12	4,38
	Gabinete de Coordenação	1	3	VC C	360	2,12	1,78	2,51

CAUDAIS EXTRAÍDOS POR VENTILADOR EM FUNÇÃO DA ZONA					
Designação da Zona	Qt.	Piso	Área Parcial (m2)	Extração (m3/h)	Ventilador
Oficinas de Manutenção	1	0	27,36	500	VE 0.1
Armazéns Gerais	1	0	27,84	250	VE 0.1
Sala de Aula	1	1	82,00	a)	a)
Lab. MDE SIMM	1	1	82,00	a)	a)
Lab. de Robótica STR	1	1	82,00	a)	a)
Lab. Projetos e Robótica Industrial	1	1	82,00	a)	a)
Lab. de Energia	1	1	110,65	a)	a)
Lab. Instrumentação e Medidas Elétricas	1	1	53,00	a)	a)
Lab Desenho Assistido por Computador	1	1	53,00	a)	a)
Lab. Investigação e Desenvolvimento	1	1	53,00	a)	a)
Lab. de Investigação	1	1	53,00	a)	a)
Gabinete	1	1	23,50	150	VE 1
Sanitários	1	1	24,98	500	VE 3
Espaço Técnico	1	1	13,14	75	VE 1
Sala de Estudo	1	1	54,84	360	VE 1
Gabinete	1	1	27,42	300	VE 1
Sala de Reuniões	1	1	27,42	360	VE 2
Gabinete Académico e Seminários	1	1	27,42	150	VE 2
Secretaria de Atendimento	1	1	27,42	150	VE 2
Secretaria	1	1	13,14	150	VE 2
Sanitários	1	1	24,98	600	VE 4
Gabinete Presidente de Departamento	1	1	25,90	360	VE 2
Lab. de Sistemas Digitais e Percecionais	1	2	110,68	a)	a)
Lab. de Sistemas Lógicos I	1	2	110,68	a)	a)
Lab. de Automação	1	2	110,68	a)	a)
Lab. de Decisão e Controlo	1	2	110,68	a)	a)
Lab. de Sinais e Sistemas	1	2	54,19	a)	a)
Lab. de Sistemática	1	2	54,19	a)	a)
Lab. de Sistemas Lógicos II	1	2	54,19	a)	a)
Lab. Projetos e Pós-graduações	1	2	54,19	a)	a)
Gabinete	1	2	23,50	150	VE 1
Sanitários	1	2	24,98	600	VE 3
Gabinete	7	2	91,97	525	VE 1
Gabinete	7	2	91,97	525	VE 2
Sanitários	1	2	24,98	600	VE 4
Gabinete	1	2	23,65	360	VE 2
Continua...					

Continuação.						
Lab. Básico de Eletrônica	1	3	80,85	a)	a)	
Lab. Básico de Eletrônica	1	3	80,85	a)	a)	
Lab. Básico de Redes e Propagação	1	3	80,85	a)	a)	
Lab. de Comunicação	1	3	80,85	a)	a)	
Lab. de Eletrônica e Telecomunicações	1	3	80,85	a)	a)	
Lab. de Telecomunicações	1	3	80,85	a)	a)	
Laboratório	1	3	54,19	a)	a)	
Lab. Avançado de Eletrônica	1	3	54,19	a)	a)	
Sala de Projetos de Telecomunicações	1	3	54,19	a)	a)	
Gabinete	1	3	23,50	150	VE 1	
Sanitários	1	3	24,98	600	VE 3	
Gabinete	6	3	78,83	450	VE 1	
Gabinete	8	3	105,10	600	VE 2	
Sanitários	1	3	24,98	600	VE 4	
Gabinete de Coordenação	1	3	23,65	360	VE 2	

a) Transferência para circulação central

Anexo C – Características de ocupação e iluminação

CARACTERIZAÇÃO DAS ZONAS					
Designação da Zona	Qt.	Piso	Área Parcial (m2)	Ocupação (nº de pessoas)	Iluminação Total (W)
Patio de Acesso Exterior	1	0	369,23	0	420
Entrada de serviço	1	0	8,23	0	78
Corredor	1	0	56,40	0	1014
Oficinas de Manutenção	1	0	27,36	0	288
Armazéns Gerais	1	0	27,84	0	288
Reserva	1	0	974,01	0	180
Casa das Máquinas	1	0	10,87	0	116
Depósito de Papel	1	0	7,36	0	58
Central Térmica	1	0	38,14	0	348
Sala Técnica Telecomunicações	1	0	10,58	0	116
Patio de Serviço	1	0	28,92	0	116
Zona de Circulação 1	1	1	355,60	0	1758
Sala de Aula	1	1	82,00	30	780
Lab. MDE SIMM	1	1	82,00	25	1170
Lab. de Robótica STR	1	1	82,00	25	1170
Lab. Projetos e Robótica Industrial	1	1	82,00	25	1170
Lab. de Energia	1	1	110,65	25	1560
Lab. Instrumentação e Medidas Eléctricas	1	1	53,00	25	780
Lab Desenho Assistido por Computador	1	1	53,00	25	780
Lab. Investigação e Desenvolvimento	1	1	53,00	25	780
Lab. de Investigação	1	1	53,00	25	780
Gabinete	1	1	23,50	2	144
Sanitários	1	1	24,98	0	198
Espaço Técnico	1	1	13,14	0	156
Sala de Estudo	1	1	54,84	20	624
Gabinete	1	1	27,42	2	312
Sala de Reuniões	1	1	27,42	20	312
Continua...					

Continuação.					
Gabinete Académico e Seminários	1	1	27,42	15	312
Secretaria de Atendimento	1	1	27,42	3	312
Secretaria	1	1	13,14	2	156
Sanitários	1	1	24,98	0	198
Gabinete Presidente de Departamento	1	1	25,90	2	312
Zona de Circulação 2	1	2	345,1	0	1734
Lab. de Sistemas Digitais e Percepcionais	1	2	110,68	25	1560
Lab. de Sistemas Lógicos I	1	2	110,68	25	1560
Lab. de Automação	1	2	110,68	25	1560
Lab. de Decisão e Controlo	1	2	110,68	30	1560
Lab. de Sinais e Sistemas	1	2	54,19	30	780
Lab. de Sistemática	1	2	54,19	25	780
Lab. de Sistemas Lógicos II	1	2	54,19	25	780
Lab. Projectos e Pós-graduações	1	2	54,19	25	780
Gabinete	1	2	23,50	2	216
Sanitários	1	2	24,98	0	198
Gabinete	14	2	183,93	28	2184
Sanitários	1	2	24,98	0	198
Gabinete	1	2	23,65	3	312
Zona de Circulação 3	1	3	345,1	0	1734
Lab. Básico de Electrónica	1	3	80,85	25	1170
Lab. Básico de Electrónica	1	3	80,85	25	1170
Lab. Básico de Redes e Propagação	1	3	80,85	30	1170
Lab. de Comunicação	1	3	80,85	25	1170
Lab. de Electrónica e Telecomunicações	1	3	80,85	25	1170
Lab. de Telecomunicações	1	3	80,85	25	1170
Laboratório	1	3	54,19	25	780
Lab. Avançado de Electrónica	1	3	54,19	25	780
Sala de Projectos de Telecomunicações	1	3	54,19	25	780
Gabinete	1	3	23,50	2	216
Sanitários	1	3	24,98	0	198
Gabinete	14	3	183,93	28	2184
Sanitários	1	3	24,98	0	198
Gabinete de Coordenação	1	3	23,65	3	144

Anexo D – Características térmicas das envolventes

De acordo com as soluções definidas com a arquitetura os valores resultantes para os coeficientes de transferência térmica (K) são os que se apresentam em sequência.

- Envolvente Opaca -

Coberturas

COB 1 (ala gabinetes) I/V	0,39 W/m ² °C / 0,38 W/m ² °C
COB 1 (ala laboratórios) I/V	0,40 W/m ² °C / 0,39 W/m ² °C

Paredes Exteriores

PE 1 (dupla c/ isolamento int.)	0,51 W/m ² °C (x fc 1.30)
PE 2 (simples c/ isolamento int.)	0,61 W/m ² °C (x fc 1.30)
PE 3 (prumos estrut.)	0,80 W/m ² °C

Paredes Interiores

PI 1 (pisos 1, 2 e 3)	0,70 W/m ² °C (x fc 1.30)
PI 2 (pisos 1, 2 e 3)	0,80 W/m ² °C
PI 3 (pisos 0)	1,40 W/m ² °C (x fc 1.30)

- Envolventes Envidraçadas -

ENV	3,9 W/m ² °C
-----	-------------------------

Ainda a nível das envolventes envidraçadas correspondentes a locais tratados os fatores solares (Fs) são os que se apresentam de seguida:

ENV – Fach. nascente (estores exteriores de lâminas orientáveis)	0,22
ENV – Fach. sul (estores interiores de tela de cor clara)	0,56
ENV – Fach. poente (estores exteriores recolhíveis de lâminas orientáveis)	0,22

